

Article, Published Version

**Knop, Friedrich**

## **Küsten- und Wattveränderungen Nordfrieslands - Methoden und Ergebnisse ihrer Überwachung**

Die Küste

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:  
**Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI)**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/100828>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Knop, Friedrich (1963): Küsten- und Wattveränderungen Nordfrieslands - Methoden und Ergebnisse ihrer Überwachung. In: Die Küste 11. Heide, Holstein: Boyens. S. 1-33.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



# Küsten- und Wattveränderungen Nordfrieslands –Methoden und Ergebnisse ihrer Überwachung–

Von Friedrich Knop

## Inhalt

1. Einleitung	1
2. Wechselwirkungen zwischen Hydrographie und Morphologie an der nordfriesischen Küste	2
a. Grundsätzliches über Gezeitenbewegung und Morphologie	
Übersicht	2
b. Verdriftungen Norderhever–Süderau	7
c. Verdriftungen Norderaue–Hörnum Tief	8
3. Profile und Höhenlinienverschiebungspläne	
a. Strandprofile	
Amrum	9
b. Wattrückenprofile	
Wattrücken Festland–Hallig Nordstrandischmoor	14
c. Stromrinnenprofile	
Norderhever–Strand–Süderau	16
4. Mehrfachprofile (dichte Profilfolgen)	
Norderoog–Watt	17
5. Umrißveränderungen und Flächenbilanz	
Norderoog	17
6. Differenzenkarten	
a. Dem Betrage nach für Anwachs/Abtrag abgestufte Differenzendarstellung	
Wattgebiet Festland–Pellworm	20
b. Differenzenkarten mit schematischer Darstellung von Anwachs/Abtrag	
Wattrücken Festland–Föhr–Amrum Odde	25
7. Überwachungsprofile 1960 bis 1962 in den Wattstromrinnen	31
8. Schriftenverzeichnis	33

## 1. Einleitung

Die für die Westküste Schleswig-Holsteins lebensnotwendige Aufgabe der Sicherung und Erhaltung des nordfriesischen Insel-, Hallig- und Wattgebietes stellt sowohl zeitlich als auch räumlich ein sehr umfassendes Problem dar.

Diese Aufgabe hat schon seit Generationen ein hohes Maß an Tatkraft und Einsatz verlangt und wird es auch in Zukunft erfordern. Die gegenwärtige Generation hat dabei die Verpflichtung, ein festes Bindeglied in einer langen Kette zu bilden. Das Meer, in nimmermüder Arbeit die Küste auf- und abbauend, verlangt stete Wachsamkeit und Bereitschaft. Der ständigen Überwachung und insbesondere daraus der Deutung der Veränderungen des Küstenreliefs kommt daher eine grundsätzliche und weitreichende Bedeutung zu.

Dabei wird man um so erfolgreicher sein können, je mehr man auch über Messungen und Erfahrungen aus zurückliegenden Zeiten verfügt. Für die vorliegenden Untersuchungen, die im Rahmen der Arbeiten der Vorarbeitenstelle Nordfriesland des Marschenbauamtes Husum erfolgt sind, wirkt es sich besonders vorteilhaft aus, daß bereits in den dreißiger und vierziger Jahren die damaligen Forschungsabteilungen der Wasserwirtschaftsverwaltung durch genaue und umfassende hydrographische Messungen und Wattkartierungen, durch Luftbild-

messung, biologische und geologische Aufnahmen die notwendige Voraussetzung für die dadurch heute mögliche exakte vergleichende Betrachtung schufen. Damit tragen die damaligen Arbeiten noch heute in besonderer Weise Früchte, ebenso wie auch die Ergebnisse dieser Veröffentlichung wieder der weiteren Erkenntnis in der Zukunft zur Verfügung stehen sollen.

Für die vorliegenden Untersuchungen werden sowohl die angewendeten Methoden als auch die erzielten Ergebnisse behandelt, da beides in enger gegenseitiger Abhängigkeit steht; denn die gewählten Arbeitsmethoden sind bereits auf die jeweiligen Untersuchungsabsichten zugeschnitten worden, was besonders für die Differenzkarten gilt (s. Abschnitt 6). Und schließlich ergibt sich so für die Ergebnisse über ihren schon in der Dokumentation des Untersuchungsmaterials begründeten Wert hinaus noch eine Beurteilungsmöglichkeit, inwieweit die angesetzten Untersuchungsmethoden und -verfahren hinreichend oder verbesserungsbedürftig sind.

Ferner erfordern die Feststellung und insbesondere die Deutung der morphologischen Veränderungen auch räumlich gesehen eine umfassendere Betrachtung. Denn die Gestalt des Küstenraumes ist eng mit den Gezeitenverhältnissen des gesamten Regimes der Wattströme und Hauptpriele verbunden; ebenso wie sich auch die Bemühungen um den Schutz der Küste nicht lediglich auf die Erhaltung einer bestimmten Linie oder bestimmter Objekte beschränken können, sondern vielmehr die Lösung der Aufgabe in einer größeren räumlichen Betrachtung zwischen der freien Nordsee und den Festlandsdeichen gesucht werden muß.

So wird es zunächst unerlässlich sein, dem Thema dieser Abhandlung eine grundsätzliche Betrachtung der Gezeitenbewegungen im nordfriesischen Küstenraum und ihrer Wechselwirkungen auf die Morphologie voranzustellen.

## 2. Wechselwirkungen zwischen Hydrographie und Morphologie an der nordfriesischen Küste

Die angreifenden Kräfte des Meeres und die beharrenden Kräfte des Landes stehen sozusagen wie *actio* und *reactio* zueinander in Beziehung. In diesem Kräftespiel werden die Gezeitenbewegungen durch die Formen des Küstenraumes ebenso modifiziert, wie umgekehrt die Morphologie des Küstengebietes durch die Gezeitenkräfte modelliert wird. Im Bereich der am weitesten seewärts vorgeschobenen Kette der Düneninseln und Außensände kommen die Brandungskräfte und ihre Sekundärströmungen noch hinzu, die örtlich beträchtliche Veränderungen hervorrufen können. Über ihre Auswirkungen an der Westküste der Insel Sylt, wo sich diese teilweise besonders nachteilig bemerkbar gemacht haben, hat u. a. LAMPRECHT (1955 u. 1957) bereits mehrfach berichtet. In den übrigen Bereichen (Kniepsand — Norderoog- und Süderoog-sand) sind die Auswirkungen der Brandung seither weniger bedrohlich geblieben. Dessenungeachtet darf jedoch auch dieser, für das gesamte dahinterliegende Wattgebiet wertvolle Schutzwall nicht aus den Augen verloren werden, da besonders in den Übergangsbereichen von den Außensänden zum Watt zahlreiche bedeutsame Abhängigkeiten bestehen, wie z. B. die weiter unten behandelten Verhältnisse um Norderoog zeigen.

### a. Grundsätzliches über Gezeitenbewegung und Morphologie Übersicht

Die Gezeitenbewegungen, vertikal als Tidehub und horizontal als Gezeitenströmung, modellieren in ständigem, astronomisch bedingtem Rhythmus am Relief des gesamten Küstenraumes. Dabei spielen die täglich zweifach in jeder Richtung auftretenden Tideströmungen eine



Abb. 1. Stromkarte



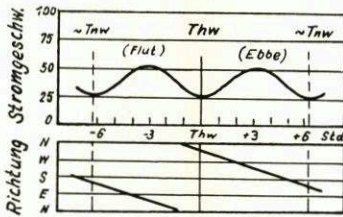
besonders wichtige Rolle. Sie sind zur Erläuterung der Zusammenhänge auf Abbildung 1 als Übersicht für mittlere Tideverhältnisse dargestellt.

In dieser Darstellung sind sowohl für Flut (grün) als auch für Ebbe (rot) die maximale Stromgeschwindigkeit als dünner Pfeil sowie die mittlere Stromgeschwindigkeit, gemittelt über die Stromdauer, als breiter Pfeil angegeben. Die Länge der Pfeile entspricht der Größe der Geschwindigkeiten. Die Breite der Pfeile für mittlere Stromgeschwindigkeiten entspricht maßstäblich der Flut- und Ebbedauer, die als Zeitdauer des steigenden bzw. fallenden Wassers festgelegt worden ist. Diese Festlegung ist erforderlich für die Fälle, in denen sich der Zeitpunkt der Kenterung des Wasserstandes von dem Zeitpunkt der Umkehr der Strömungsrichtung unterscheidet. Dieser nicht seltene Fall tritt beispielsweise bei Verdriftungen ein, wenn bei fallendem Wasser (Ebbe) der vorangehende Flutstrom noch längere Zeit über Hochwasser hinaus seine ursprüngliche (Flut-)Richtung beibehält. An der aufgetragenen Signatur der mittleren Strompfeile wird ein solcher Vorgang dadurch kenntlich, daß sich innerhalb des gleichen Pfeiles neben der grünen Signatur für Flut noch eine rote Signatur für Ebbe befindet (siehe auch Zeichenerklärung auf Abb. 1). Auf trockenfallenden Wattgebieten ist die Pfeilbreite (d. h. Stromdauer) naturgemäß kleiner, da die Strömung erst vom Zeitpunkt der Überstauung an wirksam werden kann. Für die maximale Stromgeschwindigkeit entspricht die Pfeilrichtung der entsprechenden Strömungsrichtung. Der Ansatzpunkt dieses Pfeiles ist auf der Zeitachse des breiten Pfeiles entsprechend der Eintrittszeit von  $v_{\max}$  parallel verschoben eingezeichnet, d. h. wenn beim Flutstrom die maximale Stromgeschwindigkeit kurz nach Niedrigwasser eintritt, ist der Ansatzpunkt ganz nach links gerückt, tritt  $v_{\max}$  etwa um Tidehalbwasser ein, befindet sich der Ansatzpunkt in der Mitte. Als Richtung der mittleren Stromgeschwindigkeit (breiter Pfeil) ist die vorherrschende Stromrichtung angegeben, die beim Richtungsstrom in Wattströmen und Hauptprielien eindeutig entsprechend dem morphologischen Verlauf der Rinne feststellbar ist. Im Falle des Drehstromes im Seegebiet oder auf den Watten ist dann ein kleiner Kreisbogen mit Pfeil in Drehrichtung hinzugefügt.

Diese Darstellungsmethode der Abbildung 1 ermöglicht es, eine Fülle von differenzierten Zusammenhängen in übersichtlicher Form für den gesamten Küstenbereich Nordfrieslands anzugeben und auszuwerten. Weitergehende Einzelheiten mit zahlreichen Meßergebnissen und Diagrammen sind vom Verfasser in den „Untersuchungen über Gezeitenbewegung und morphologische Veränderungen im nordfriesischen Wattgebiet als Vorarbeiten für Dammbauten“ (KNOP 1961) angegeben worden. Die Messungen, die im Rahmen der Arbeiten der Vorarbeitenstelle Nordfriesland des Marschenbauamtes Husum zum großen Teil in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Hydrographischen Institut Hamburg (NEUMANN 1960) durchgeführt wurden, führten zu folgenden Ergebnissen:

Im Seegebiet vor der nordfriesischen Küste verläuft der Gezeitenstrom als linksdrehender Drehstrom, der während der Kenterungen nicht auf Null abfällt und dessen Geschwindigkeiten unter normalen Verhältnissen in der Größenordnung von 25 bis 75 cm/s liegen (Abb. 2: „Seegebietstyp“). Dabei drehen die Hauptströmungsrichtungen von Ebbe und Flut von einer Ost-West-Richtung im Süden vor der Küste auf eine Nord-Süd-Richtung im Norden. Die Wasserstandskurven verlaufen angenähert sinuskurvenförmig mit relativ geringem Tidehub, der noch von Süden nach Norden hin abnimmt (Abb. 3).

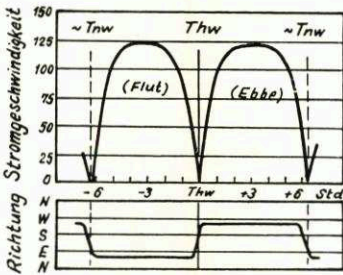
Im Bereich des Durchtritts der Wattströme durch die Zone der Düneninseln und Außensände geht der Drehstrom in einen, dem Verlauf der Stromrinnen entsprechenden, mit Ebbe und Flut alternierenden Richtungsstrom über. Da von See her in besonderen Flutarmen der Flutstrom, von Land her in besonderen Ebbearmen der Ebbstrom überwiegt, bilden sich im Mündungsgebiet der Wattströme unter Wasser verbreitet durchgehende Barren aus (z. B. Abb. 1, Meßpositionen 3611 und 3610).



### Seegebietstyp

**Kennzeichen:** Drehstrom, Geschwindigkeit an- und abschwelend in der Größenordnung 25 bis 75 cm/s, nicht auf Null zurückfallend

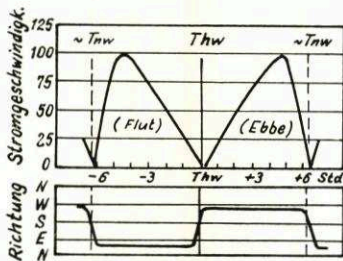
**Beispiele:** Meßpositionen 3613, 3614, 3615, 3818, 3819



### Wattstromtyp

**Kennzeichen:** Alternierender Zwangsstrom entsprechend dem Verlauf der Stromrinne, Geschwindigkeiten in der Größenordnung 100 bis 150 cm/s längere Zeit anhaltend, dann steiler Abfall (Anstieg) vor und nach der ausgeprägten Kenterung um Hoch- und Niedrigwasser

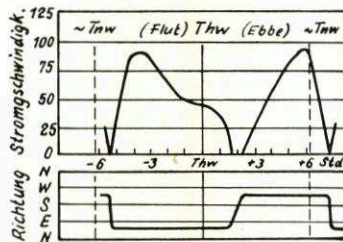
**Beispiele:** Meßpositionen 3601, 3605, 3606, 3802, 3807, 3813



### Prieltyp

**Kennzeichen:** Alternierender Zwangsstrom entsprechend dem Prielverlauf, ausgeprägte, kurzzeitige Geschwindigkeitsspitzen nach Niedrigwasser hin verschoben. Größenordnung von  $v_{max}$  örtlich stark schwankend zwischen 75 und 125 cm/s

**Beispiele:** Meßpositionen (3603), 3806, 3808, 3809, F 5/56

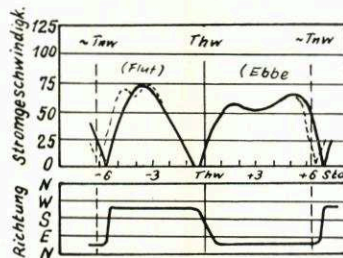


### Verdriftertypen

a) vor der Wasserscheide (in Verdriftungsrichtung gesehen)

**Kennzeichen:** Verlängerte Flutstromdauer 1 bis 2,5 Std. über Thw hinaus, sonst nach Prieltyp u. U. Wattstromtyp), Stillwasserzeit zwischen Flut- und Ebbstrom

**Beispiele:** Meßpositionen 3603, 3806, 3810



b) hinter der Wasserscheide (in Verdriftungsrichtung gesehen)

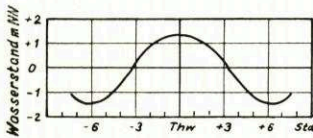
**Kennzeichen:** Verkürzter Flutstrom, vorzeitige Richtungsumkehr, doppelte Maxima insbes. bei Ebbstrom, verlängerter Ebbstrom, Stillwasserzeit zwischen Flut- und Ebbstrom (u. U. starker Gefällerrückstrom entgegen Verdriftungsrichtung um Niedrigwasser, z. B. Strand)

**Beispiele:** Meßpositionen 3602, 3811

Abb. 2. Schema der horizontalen Gezeitenbewegungen



In den Wattströmen steigen die Stromgeschwindigkeiten schnell an, halten in einer Größenordnung von 100 bis 150 cm/s und mehr längere Zeit an, um dann bei Wasserstandskenterung schnell wieder auf Null abzufallen. Die Stromrichtung folgt dem örtlichen Verlauf der Stromrinnen (Abb. 2: „Wattstromtyp“). Die Wasserstandskurven zeigen im Wattgebiet bei verhältnismäßig großem, zum Festland hin zunehmendem Tidehub spitze Kurvenscheitel, insbesondere um Niedrigwasser. Die Wendepunkte sind nach Tnw hin verschoben, zum Teil ist der Flutast verkürzt, der Ebbeast verlängert (Abb. 3).

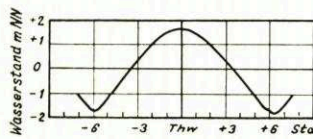


#### Seegebiet

(hier etwa bis zum Bereich der Außensände)

*Kennzeichen:* Tidekurvenverlauf etwa nach der Sinuskurve, verhältnismäßig kleiner Tidehub, Wendepunkte bei Tidehalbwasser

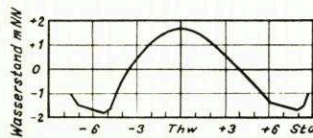
*Beispiel:* Pegel Süderoogsand



#### Wattgebiet

*Kennzeichen:* Spitze Form der Kurvenscheitel, insbesondere bei Niedrigwasser, Wendepunkte nach Niedrigwasser hin verschoben, z.T. verkürzter Flut-, verlängerter Ebbeast, verhältnismäßig großer Tidehub

*Beispiel:* Pegel Strand



#### Oberwassereinfluss

*Kennzeichen:* Verlängerte Ebbedauer, verspätete Niedrigwasserkehrung infolge des Oberwasserzuflusses, verkürzte Flutdauer. Steiler Flutast, flacher Ebbeast, geknickter Kurvenverlauf um Niedrigwasser bei Sielen

*Beispiel:* Außendeichpegel Bongsiel

Abb. 3. Schema der vertikalen Gezeitenbewegungen

Im Mittellauf der Wattströme befinden sich besonders tiefe Erosionsrinnen (—20 bis —30 m NN), in denen ein Sedimenttransport sowohl in Flut- als auch in Ebberichtung als Folge der hier nach beiden Richtungen etwa gleich großen, anhaltend hohen Gezeitenströmungen stattfindet. Die Tabellen 1 und 2 geben hierzu noch einige genauere Zahlenangaben für mittlere Tideverhältnisse.

Tabelle 1

Gezeitenströmungen im Mittellauf der Wattströme nach gelaufener Tide  
bei angenähert mittleren Wasserstandsverhältnissen

Meßposition		Flut (cm/s)	Ebbe (cm/s)	Datum der Messung
3606 Heverstrom: Südfall	$v_{max}$	136	156	29. 6. 1956 Nm
	$v_m$	85	102	
3605 Norderhever: Ochsensand	$v_{max}$	111	121	29. 6. 1956 Nm
	$v_m$	77	81	
3601 Süderau: Hooge	$v_{max}$	116	119	29. 6. 1956 Nm
	$v_m$	79	80	
3807 Norderaue: Wyk Süd	$v_{max}$	135	126	7. 8. 1958 Nm
	$v_m$	86	83	
3813 Hörnum Tief: Hörnum Odde	$v_{max}$	178	166	7. 8. 1958 Nm
	$v_m$	112	112	

Tabelle 2

Gezeitenströmungen im Mittellauf der Wattströme nach mittleren Stromkurven, die aus Schaufelradstrommessungen von mindestens 14,77tägiger Dauer (halber synodischer Monat) gemittelt sind

Meßposition		Flut (cm/s)	Ebbe (cm/s)
3606	Heverstrom: Südfall	$v_{max}$ 128 $v_m$ 80	144 82
3605	Norderhever: Ochsensand	$v_{max}$ 99 $v_m$ 70	105 75
3601	Süderau: Hooge	$v_{max}$ 106 $v_m$ 73	108 73
3807	Norderau: Wyk Süd	$v_{max}$ 124 $v_m$ 89	124 88
3813	Hörnum Tief: Hörnum Odde	$v_{max}$ 173 $v_m$ 114	163 116

Gegen den Oberlauf der Wattströme hin bis zu den Verästelungen der Priele verändert sich das Strombild so, daß nur noch kurzzeitige, gegen Niedrigwasser hin verschobene Geschwindigkeitsspitzen in einer Größenordnung von 75 bis 125 cm/s auftreten (Abb. 2: „Prieltyp“). Der überwiegende Strom und die daraus folgende Materialtransporttendenz sind hier normalerweise landwärts gerichtet (z. B. Abb. 1, Meßpositionen 3809 oder 3812).

In den Gebieten, in denen die Wattströme in ihrem Oberlauf Verbindung miteinander besitzen und nicht durch Inseln, Halligen oder Dämme voneinander getrennt sind, treten mit jeder Tide über Hochwasser natürliche periodische Verdriftungen größerer Wassermengen gewöhnlich zum nördlich benachbarten Wattstromsystem hin auf (Abb. 2: „Verdrifttypen“) mit Durchbrüchen durch die Wattrücken und mit Abbau der Wattflächen auf der Seite des südlichen Systems, mit teilweisem Anwachs auf der Seite des nördlich benachbarten Stromsystems und mit teilweisem Anwachs vor dem Festland, was noch eingehend im Abschnitt 6 auf Grund genauer, zweifacher Vermessungen nachgewiesen wird. Die Ursachen für die natürliche Tendenz der Wattströme, durch die Verdriftungen hinter den Inseln und Halligen über die Wattrücken hinweg Verbindung zueinander zu suchen, die Wattflächen zu zertrennen und umzulagern, soweit dies nicht durch Inseln, Halligen und Dammbauten, welche die einzelnen Stromgebiete trennen, verhindert wird, gehen zurück auf die astronomischen Gezeitenbedingungen in der Nordsee, vor allem auf die unterschiedlichen Eintrittszeiten von Tideniedrig- und -hochwasser und auf den von Süden nach Norden abnehmenden Tidehub. Man muß daher diese aus den ständigen, natürlichen Bedingungen der periodischen Gezeitenbewegungen entstehenden Verdriftungen streng unterscheiden von den aus aperiodischen Ursachen, vorwiegend vom Windstau hervorgerufenen Verdriftungen, wie sie z. B. im Bereich der Ostfriesischen Inseln häufig auftreten und u. a. von WALTHER (1949) behandelt wurden. In Nordfriesland treten dann naturgemäß die meteorologischen Einflüsse zu den astronomisch-periodischen Bedingungen für die Verdriftungen noch verstärkend oder dämpfend hinzu. Durch Messungen in der Norderhever und der Süderau wurde allerdings festgestellt, daß hier durch verstärkten Windstau (Sturmfluten) aus westlichen Richtungen die astronomisch bedingten Verdriftungen behindert werden. Dieser vorteilhaften Tendenz wird es zu verdanken sein, daß der Bestand der Wattrücken zwischen den Wattstromsystemen der Norderhever und der Süderau über die Jahrhunderte nicht noch stärker angegriffen worden ist als seither.

Die Verdriftungen üben, wie die Differenzkarten im Abschnitt 6 noch näher ausweisen, einen besonders starken Einfluß auf die Umlagerungen im Wattgebiet aus. Die Stromverhält-



nisse der bedeutsamsten Verdriftungsbereiche zwischen den Wattstromsystemen Norderhever und Süderau sowie zwischen Norderaue und Hörnum Tief müssen daher nachfolgend noch etwas eingehender behandelt werden. Dabei sei jedoch bedacht, daß es neben den genannten noch eine ganze Anzahl weitere Verdriftungsgebiete geben wird, die bisher nur durch einzelne Stichprobenmessungen erfaßt worden sind oder die auf Grund der hier behandelten grundsätzlichen Zusammenhänge vermutet werden müssen, und die zugleich der weiteren Forschung noch eine große Zahl weiterer Aufgaben zuweisen: z. B. in den Gebieten Holmer Fähr/Fuhle Schlot (Rungholt Sand), Steinloch über den Wattrücken Süderoog — Pellworm, Rummelloch West über den Wattrücken Hooge — Pellwormer Plate, Schweinsrücken vor Langeneß zwischen Süder- und Norderaue, Föhrer Schulter zwischen Föhrer Ley und Föhr. Zunächst aber seien die durch längere Messungen genauer erfaßten Verdriftungsgebiete erörtert:

#### b. Verdriftungen Norderhever — Süderau

Verfolgt man das Strombild der Norderhever stromaufwärts bis zum „Strand“ hin, so zeigen sich hier auf der Meßposition 3603 (Abb. 1) zunächst das Strombild des „Prieltyps“ mit den nach Niedrigwasser hin verschobenen, kurzzeitigen Geschwindigkeitsspitzen und die für Wattgebiete typische Wasserstandskurve mit dem spitzen Kurvenverlauf um die Niedrigwasserzeit und den tiefliegenden Wendepunkten (Abb. 2 u. 3).

Dieses Bild wird nun noch stark modifiziert durch die Verdriftung großer Wassermengen über die Pellwormer Plate und durch den Strand hindurch zum nördlich benachbarten Stromgebiet der Süderau. Dieser Vorgang geht aus dem zeitlichen Verlauf des Flutstromes hervor, der seine nördliche Richtung noch etwa zwei Stunden über Hochwasser hinaus beibehält mit einer nachfolgenden Stillwasserzeit. Bei dem dann verspätet beginnenden Ebbstrom tritt durch die tiefe Verbindungsrinne am Strand ein starker Rückstrom von der Süderau zur Norderhever hin auf bis etwa eine Stunde über Niedrigwasser hinaus (Abb. 2: „Verdriftertyp a“). Da die beiden Stromgebiete um Niedrigwasser durch trockengefallene Wattrücken getrennt sind und nur Verbindung miteinander durch die Rinne am Strand haben, tritt zwar der genannte starke Rückstrom ein; es verdriften dabei aber keine, mit dem Zustand bei Hochwasser vergleichbaren großen Wassermassen.

Die Ursache dieser Wasserbewegungen liegt vorwiegend in dem größeren Tidehub der Norderhever gegenüber der Süderau begründet, weil die Norderhever höher aufläuft und tiefer abfällt. Während sich über Hochwasser die Wasserstandsunterschiede weitgehend ausgleichen, beträgt der Spiegelunterschied bei Niedrigwasser für mittlere Tide zwischen den 4,1 km entfernt voneinander liegenden Pegeln Strand — Norderhever und Strand — Süderau etwa 25 cm.

Auch über den Rocheley Sand hinweg treten zwischen dem alten Bongsieler Außenpriel, der noch stark dem Regime der Norderhever folgt, und dem Schlütt, einem Seitenarm der Süderau, entsprechende Verdriftungen auf. Seit der Eindeichung des Bongsieler Speicherkooes (Hauke-Haien-Koog, 1957 bis 1959) mit der Verlegung des Bongsieler Kanals von Bongsiel nach Schlüttsiel werden sich die Verhältnisse hier vermutlich wandeln. Die Neuvermessung des Rocheley Sandes von 1961 durch die Vorarbeitenstelle Nordfriesland wird hierüber nähere Aufschlüsse bringen.

Das Strombild im Oberlauf der Süderau (Abb. 1: Meßposition 3602) wird durch die kräftige Verdriftung von der Norderhever her durch die Rinne am Strand und über die Watten hinweg naturgemäß stark beeinflusst. An sich wäre für die obere Süderau ein Stromgeschwindigkeitsverlauf nach dem „Prieltyp“ mit kurzen, nach Niedrigwasser hin verschobenen Geschwindigkeitsspitzen zu erwarten, wobei die Geschwindigkeiten selbst dem Betrage nach



wegen des bis zur Hallig Habel hin recht breiten Strombettes nicht allzu groß sein dürften. Die Verdriftung über Hochwasser bewirkt jedoch hier nun ein erstes vorzeitiges Strömungsmaximum für den Ebbstrom der Süderau, dem ein zweites, dem eigentlichen, dem „Prieltyp“ entsprechendes Strömungsmaximum folgt. Beim beginnenden Flutstrom in der Süderau bewirkt der „Sog“ durch den Strand von der tiefer abgefallenen Norderhever her einen analogen, aber schwächer und weniger ausgeprägten Stromgeschwindigkeitsverlauf mit zwei Strömungsmaxima in entgegengesetzter Richtung (Abb. 2: „Verdriftertyp b“).

Auf den Watten im Bereich der Süderau bewirkt die Verdriftung je nach der Lage zur Stromscheide einen verkürzten Flutstrom (Abb. 1: Meßposition O 47), oder einen überhaupt ständig gleichsinnig in Verdriftungsrichtung laufenden Flut- und Ebbstrom (Abb. 1: Meßpositionen W 3, W 4, O 42). Auch das Rummelloch nördlich von Pellworm wird durch die Verdriftung entsprechend beeinflusst.

### c. Verdriftungen Norderau — Hörnum Tief

Die behandelten Stromverlaufstypen treten auch in den Wattstromgebieten der Norderau und des Hörnum Tiefs auf. Nach dem Oberlauf zu verzweigt sich die Norderau mit zahlreichen Rinnen und Prielen in das Wattgebiet zwischen Föhr und dem Festland. In den beiden Hauptarmen querab von Dagebüll und Näsborn (Abb. 1: Meßpositionen 3808 und 3809) folgt der Stromverlauf bereits dem inzwischen bekannten „Prieltyp“, wobei das in Erscheinung tretende Flutstromübergewicht bereits auf eine Verdriftung nach Norden über die Föhrer Schulter hinweg zum Stromgebiet des Hörnum Tiefs hinweist. Im Gebiet des Föhrer Ley wird die Verdriftung dann ganz offensichtlich. Der Stromverlauf folgt je nach Lage zur Wasserscheide den beiden „Verdriftertypen“. Auf der südlichen Seite (Abb. 1: Meßposition 3810) erreicht der nach Nordwesten setzende Flutstrom unmittelbar nach Niedrigwasser eine kurze Geschwindigkeitsspitze und behält dann zwar langsam abnehmend aber bis anderthalb Stunden über Hochwasser hinaus seine nordwestliche Flutstromrichtung bei. Nach einer etwa halbstündigen Stillwasserzeit setzt langsam, gegen Niedrigwasser sich steigernd der Ebbstrom ein, der auch zeitlich verkürzt ist und etwas nachhinkt. Nördlich der Wasserscheide (Abb. 1: Meßposition 3811) im Stromgebiet des Hörnum Tiefs wirkt sich die Verdriftung so aus, daß der Flutstrom vorzeitig, etwa anderthalb Stunden vor Ortshochwasser erlischt und eine etwa einstündige Stillwasserzeit eintritt. Danach verlaufen die Richtung der von Südosten her verdriftenden Wassermassen und die Richtung des einsetzenden Ebbstromes im oberen Hörnum Tief gleichsinnig, so daß das bekannte vorzeitige Ebbstrommaximum entsteht, dem noch das zweite, das eigentliche, gegen Niedrigwasser hin verschobene Ebbstrommaximum folgt.

Gegenüber den Verhältnissen am Strand zwischen Norderhever und Süderau unterscheidet sich der Zustand am Föhrer Ley nur dadurch, daß hier noch keine bei Niedrigwasser offene und durchströmte Rinne besteht. Um Niedrigwasser fällt bei mittleren Tiden die gesamte Föhrer Schulter mit dem höchsten Teil des Föhrer Leys trocken. Dadurch entfällt hier zu dieser Zeit der starke Rückstrom, obwohl ähnlich wie am Strand zwischen den 5,15 km voneinander entfernten Pegeln Föhrer Ley Nord und Süd bei Niedrigwasser ein Wasserstandsunterschied von etwa 45 bis 50 cm bei mittlerer Tide besteht.

Auch auf dem Watrück zwischen den Inseln Amrum und Föhr ist eine ähnliche Verdriftung gemessen worden. Dieses Wattgebiet wird überwiegend durch das Amrum Tief, einen Seitenarm der Norderau, be- und entwässert. Das Gebiet ist nach Norden offen und hat jenseits der topographischen Wasserscheide bei Amrum Odde, wo auch ein Wattenweg zwischen den beiden Inseln bei Niedrigwasser trockenfällt, Verbindung zum Hörnum-/Vortrapp Tief.



Nach dieser Richtung läuft eine entsprechende Verdriftung, die allerdings etwas weniger stark ausgeprägt ist (Abb. 1: Meßpositionen 3806, W 21). Bei Niedrigwasser fällt der Wattrücken trocken, so daß auch hier kein Rückstrom eintritt wie am Strand, obwohl zu dieser Zeit beiderseits des Wattrückens bei mittlerer Tide ein Wasserstandsunterschied von etwa 30 cm besteht. Sollte der Wattrücken zwischen Amrum und Föhr einmal durchgebrochen werden, wird hier eine ähnliche akute Gefahr der Abtrennung vom Föhrer Wattsockel wie am Strand zwischen Pellworm und dem Festland auftreten.

\*

Die beschriebenen Gezeitenbewegungen stehen in enger Wechselwirkung zur Morphologie des Küstenraumes und seiner Veränderungen. Insbesondere die durch objektive Messungen festgestellten Veränderungen und ihre künftige Entwicklungstendenz liefern die notwendigen Grundlagen für die zu treffenden Küstenschutzmaßnahmen.

### 3. Profile und Höhenlinienverschiebungspläne

Eine schon seit langer Zeit praktizierte, sehr einfache und schnelle und daher auch im Prinzip heute noch häufig in der Küsten- und Wattvermessung gehandhabte Methode zur Überwachung der morphologischen Veränderungen basiert auf der bekannten Einmessung von Profilen, die wiederum zu ihrer räumlichen Einordnung gewöhnlich rechtwinklig auf Standlinien bezogen sind mit vermarkten und durch GAUSS-KRÜGER-Koordinaten festgelegten Endpunkten.

Methodisch bieten Profile eigentlich nichts Neues oder Besonderes. Aber es ist erstaunlich, welch weitgehende Erkenntnisse diese im Prinzip (nicht immer in der praktischen Ausführung) einfachen Vermessungen bereits vermitteln können, insbesondere wenn sie weiter ausgewertet und in geeignete Darstellungsformen gebracht werden. Hierzu wird auf nachfolgende Beispiele und Ergebnisse hingewiesen:

#### a. Strandprofile Amrum

Am Sandstrand der Düneninseln haben die verformenden Kräfte des Meeres wegen des losen und wenig gebundenen Zusammenhanges der einzelnen Sandkörner eine besonders günstige Wirkungsmöglichkeit, und sie rufen hier deshalb auch in verhältnismäßig kurzen Zeiträumen sehr augenfällige Veränderungen hervor. Das hat schon sehr früh zu genauen, durch Messungen objektiv nach Maß und Zahl gesicherten Strandbeobachtungen geführt. Auf der Insel Sylt gehen die nach heutigen Maßstäben zuverlässigen Messungen bis auf das Jahr 1870 zurück, und sie sind bis in die Gegenwart fortgeführt worden. Hierüber liegen zahlreiche Veröffentlichungen vor.

Für die bedeutsamsten Strandveränderungen auf der Insel Amrum reichen die zuverlässigen Messungen bis 1920 zurück. Der größte Teil der Insel Amrum, der im Westen durch den breiten Kniepsand geschützt wird, liegt daher nicht ganz so exponiert wie die Westküste von Sylt. Der Kniepsand unterliegt zwar auch der ständigen Veränderung, jedoch ist hier die Lage bisher weniger bedrohlich gewesen. Die stärkeren, für den Bestand der Insel ungünstigen Veränderungen sind im Bereich der Nord- und Südspitze der Insel, nämlich bei Amrum Odde und am Südstrand von Wittdün aufgetreten.

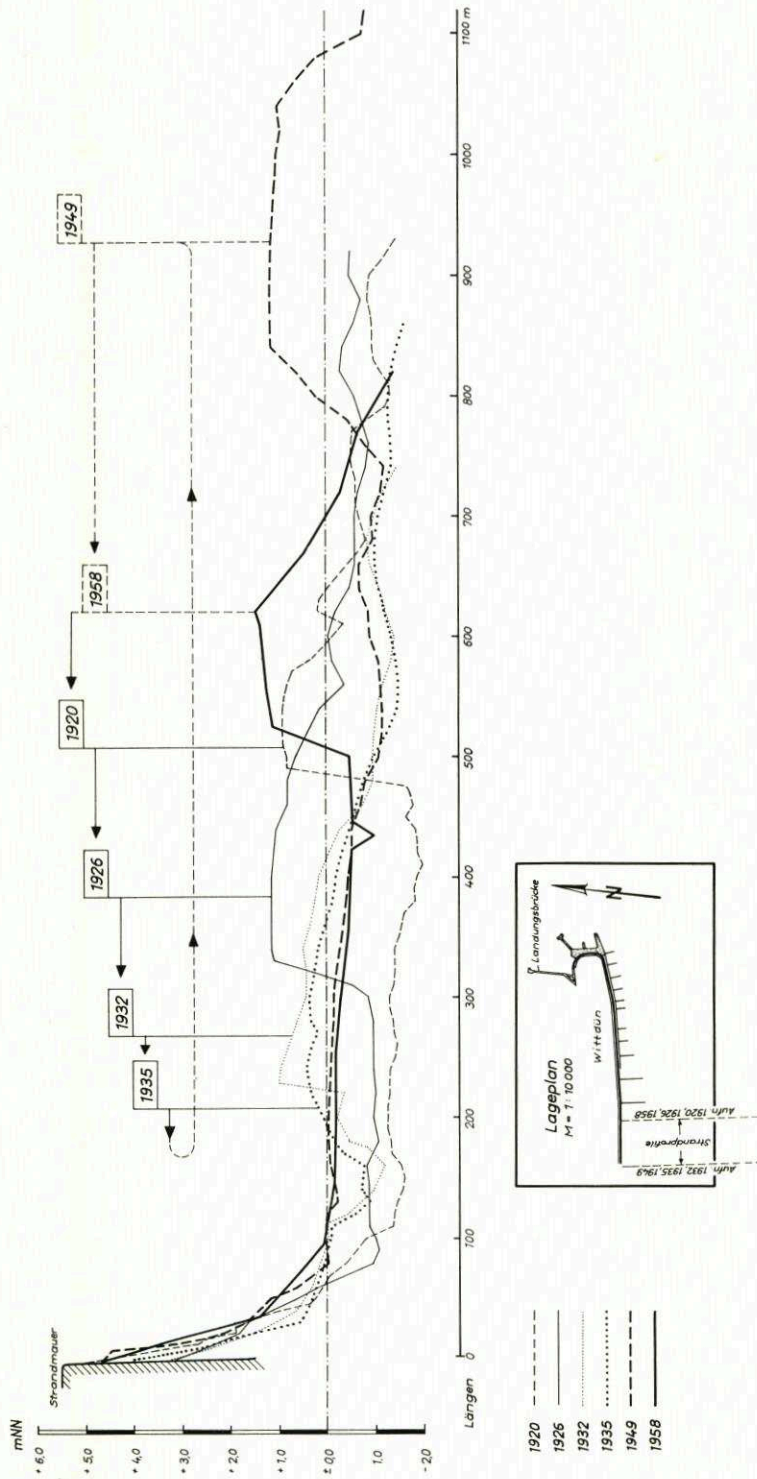


Abb. 4. Strandveränderungen des Südstrandes von Wittdün. Heranwandern des Nehrungshakens (s. auch Abb. 5), seine Abflachung und sein neuer Aufbau von See her



Südlich von Wittdün bildet der Kniepsand zeitweilig einen oder mehrere wandernde Nehrungshaken, die sich aber nicht direkt an die Strandmauer oder die Dünen anlegen. Vielmehr bildet sich zwischen dem Nehrungshakensystem und der Strandmauer eine Art „Haff“, eine nach Osten offene Legde, in der das Wasser mit jeder Tide ein- und ausströmt, wobei besonders an der südlichen Strandmauer eine starke Sandabnahme erfolgt. Der Küstenschutz gestaltet sich hier deshalb schwierig, weil der Nehrungshaken — wie alle derartigen Bildungen — seiner Natur nach sehr labil und in einer ständigen Sandwanderung begriffen ist, wobei er zeitweilig fast ganz verschwindet und dann wieder neu von See her aufgebaut wird.

Bereits die einfache Profildarstellung auf Abbildung 4 weist diesen Vorgang sehr deutlich nach. Hier sind in einer Auswahl Strandprofile aus dem Zeitraum von 1920 bis 1958 aufgetragen, um auch ihre Abhängigkeit von der Zeit mit zu erfassen. Denn die Betrachtung

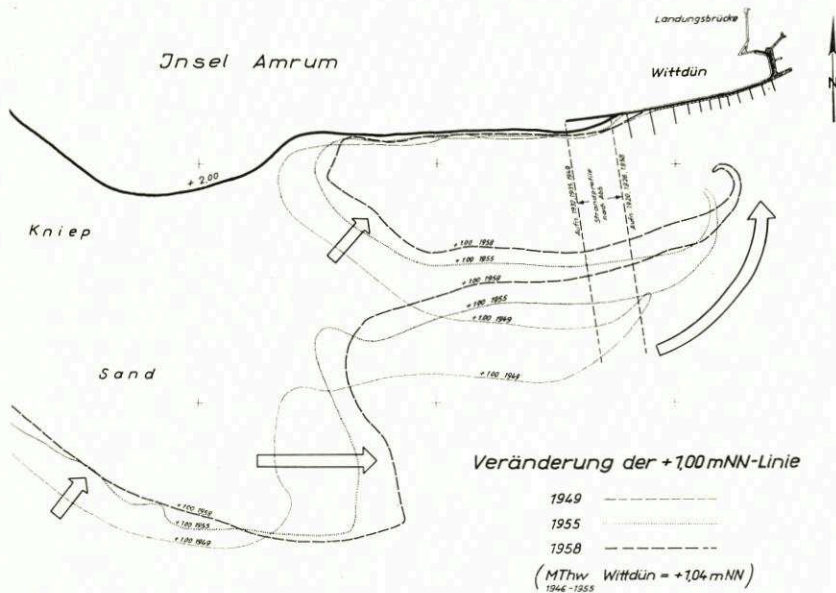


Abb. 5. Wanderung des Nehrungshakens „Der Kapitän“ vor dem Südstrand von Wittdün

morphologischer Veränderungen ist eigentlich ein vierdimensionales Problem: Der Raum muß nach Länge, Breite und Tiefe (Höhe) betrachtet und als vierte Variable die Zeit berücksichtigt werden. So kann die Profildarstellung, welche die Geländeoberfläche naturgemäß in einem vertikalen Schnitt nur zweidimensional wiedergeben kann, noch nicht hinreichend sein, um die erforderliche Betrachtung nach Raum und Zeit zu ermöglichen. Man kann diese jedoch leicht erreichen, wenn man einen zweiten, in horizontaler Ebene liegenden Schnitt führt und einen Höhenlinienverschiebungsplan (Abb. 5) aufstellt. Dieser vermittelt nun die unerläßliche, erweiterte Schau in horizontaler Ebene. Nach der Tiefe gesehen, ist der Höhenlinienverschiebungsplan etwas unvollkommen. Darum muß man erforderlichenfalls weitere Schnitte in tiefer oder höher liegenden horizontalen Ebenen führen, was für die ausführliche Untersuchung des Wittdüner Südstrandes 1959 auch erfolgt ist. Der Vorteil eines solchen, man könnte fast sagen primitiven Höhenlinienverschiebungsplanes liegt in seinem überaus übersichtlichen Darstellungsvermögen und in der Konzentration zum Wesentlichen.

Die Profile (Abb. 4) und der Höhenlinienverschiebungsplan (Abb. 5) legen die eingangs bereits beschriebene natürliche Tendenz der Strandhakenbildung eindeutig fest, und danach



können für den Küstenschutz die notwendigen Schlußfolgerungen gezogen und erforderlichenfalls bautechnische Maßnahmen in funktionell richtiger Weise ergriffen werden. Das durch die Hakenbildung und durch die Strandmauer entstehende Haff füllt sich selbst von Westen her durch Sandflug auf, wenn auch viel langsamer als die nach Osten und Nordosten fortschreitenden Hakenbildungen. In der Auffüllung des Haffs mit Sand liegt für den Wittdüner Südstrand eine sehr positive natürliche Entwicklung, die noch durch den Bau von Buschzäunen und Halm-pflanzungen wirksam unterstützt worden ist. Je kleiner das Fassungsvermögen des Haffs und damit die mit jeder Tide ein- und ausströmende Wassermenge wird, um so geringer werden auch zwischen der Südoststrecke der Strandmauer und der Nase des Nehrungshakens die Stromgeschwindigkeiten, die nach Messungen des Jahres 1958 in der Größenordnung von  $v_{\max} = 50$  bis 70 cm/s liegen und die für den schar liegenden Fuß der Strandmauer verantwortlich sind. Weiter östlich nach der Norderaue hin fällt die Strömung unter Verlangsamung fächerförmig auseinander und bildet hier am nassen Strand mehrere nach Süden (in Ebberichtung der Norderaue) abgebogene weitere Haken, so daß die Sandwanderung einem ständigen Kreislauf zu folgen scheint: vom Kniepsand mit der Ostdrift zum Südstrand von Wittdün und Aufbau der Nehrungshaken, weiter zur Norderaue hin vom Ebbstrom erfaßt und vom Land-Tief wieder zum Kniepsand verfrachtet.

Auch an der Nordspitze der Insel bei Amrum-Odde ist der Westrand stärkeren Veränderungen unterworfen. Sie sind durch eine dichte Folge von Profilen mehrfach aufgemessen worden. Daraus sind die beiden beigegebenen Höhenlinienverschiebungspläne (Abb. 6 u. 7) abgeleitet worden. Methodisch stellen sie insofern eine Erweiterung dar, als hier die horizontalen Schnitte in drei Tiefenlagen (+ 3 m NN, + 1 m NN, - 1 m NN) auf einem Plan gleichzeitig kartiert werden konnten. Mehr als die Höhenlinien dreier Jahre kann man jedoch in übersichtlicher Form auf einem Plan gewöhnlich nicht unterbringen, es sei denn die Veränderungen verlaufen sehr regelmäßig und gleichsinnig, was aber in der Natur nur selten eintritt. Im vorliegenden Falle wurden daher zwei Pläne nebeneinandergestellt, jeweils für die Jahresreihen 1949 — 54 — 56 und 1949 — 56 — 60. Da sich die Höhenlinien in den verschiedenen Zeitabschnitten teilweise nach See zu vorgeschoben haben (Anwachs), danach teilweise wieder rückläufig sind (Abtrag), ist zur Darstellung der jeweiligen Bewegungen eine Signatur mit entsprechend gerichteten Pfeilen gewählt worden. Dadurch wird dem Betrachter eine schnelle optische Erfassung der Veränderungsrichtungen ermöglicht.

Die Analyse der Strandveränderungen nach den Abbildungen 6 und 7 ist sehr aufschlußreich:

Die Strandgestaltung ist Teil eines großräumigen Wechselspiels zwischen dem (Ebbe-) Strom im Hörnum Tief und der vermutlich nördlichen Sanddrift des Kniepsandes.

Von Süden her versuchen sich die Sandmassen des Kniepsandes auf dem trockenen Strand am Dünenfuß nach Nordosten vorzuschieben, worauf die Hakenbildungen in Nordost-Richtung der + 1-m-Linie hinweisen.

Etwa auf der Höhe der Dünenverbauung von 1955 treffen die Ebbeströmungen des Hörnum Tiefs und des Amrum Tiefs, letztere noch verstärkt durch die um Amrum Odde von der Norderaue her verdriftenden Wassermengen, auf den Kniepsand und verhindern seine weitere nördliche Drift. Die Hakenbildungen in Südwest-Richtung der - 1-m-Tiefenlinie machen dies besonders deutlich. Die zahlreichen Überschneidungen von Anwachs und Abtrag auf den Abbildungen 6 und 7 veranschaulichen besonders das Wechselspiel zwischen den Strömungen und der Drift des Kniepsandes. Nimmt man noch Luftbilder zu Hilfe, so erkennt man deutlich am Verlauf der Niedrigwasserlinie eine Vorstrandeinbuchtung vor Amrum Odde sowohl im Jahre 1937 als auch im Jahre 1958. Der Unterwasserstrand bildet hier eine steile Kante. Die Nordgrenze des schützenden Kniepsandes ist etwa auf der Höhe des Dünen-



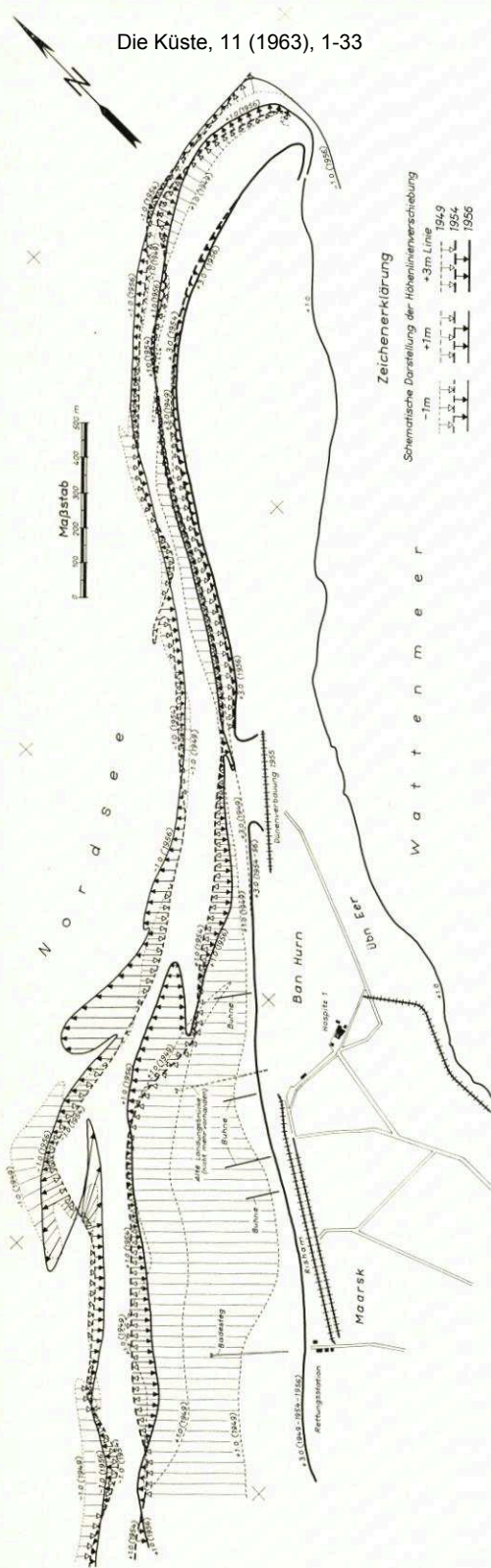


Abb. 6

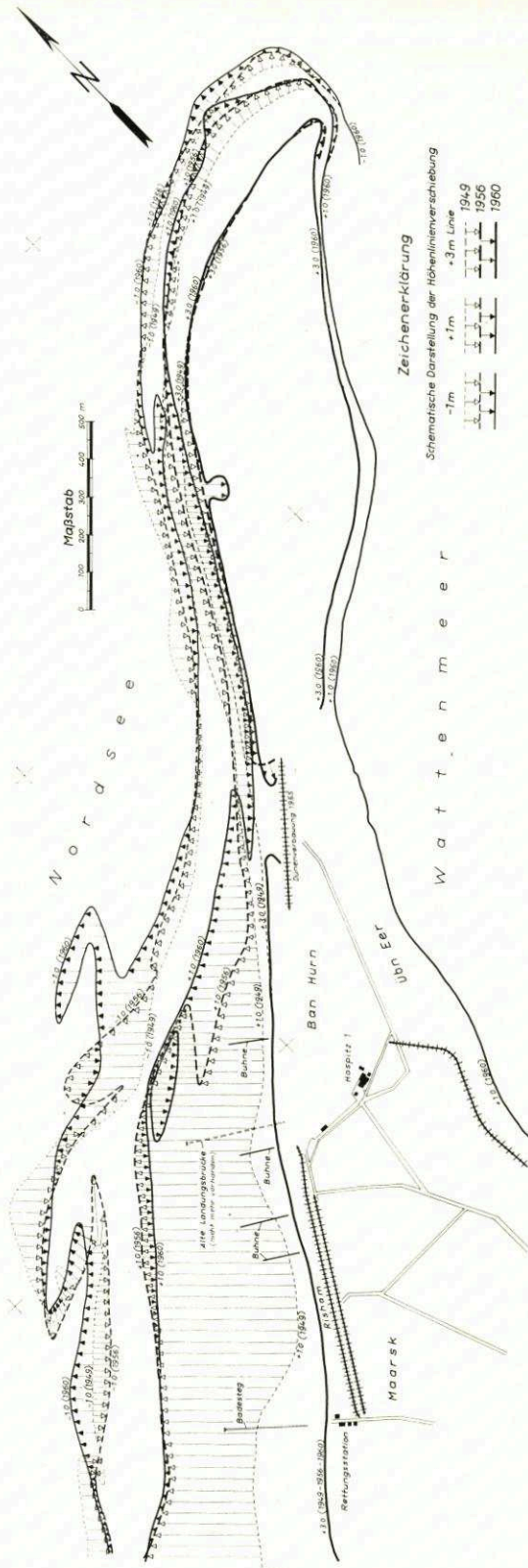


Abb. 7

Abb. 6 und 7. Amrum Odde — Strandveränderungen

verbaues von 1955 liegengeblieben. Der unmittelbare Fuß des Dünenverbaues ist mit Hilfe von Buschzäunen und Halmpflanzungen noch gut eingesandet. Die anschließende Strecke bis zur Nordspitze von Amrum Odde befindet sich fast durchweg im Abtrag, und etwa auf halbem Wege ist noch ein neuer Düneneinbruch erfolgt. Die äußerste Nordspitze der Insel zeigt die Neigung, sich zu verlängern. Diese Nehrungshakenbildung dürfte jedoch sehr labil sein. Auch wirkt der Verlängerung die dicht unter der Kante verlaufende Stromrinne mit den Verdriftungsströmungen von der Norderaue über das Amrum Tief zum Hörnum Tief entgegen (siehe Abschn. 1). Im Jahre 1960 ist daher hier an einigen Stellen die Strandentwicklung bereits wieder rückläufig.

#### b. Wattrückenprofile Wattrücken Festland — Hallig Nordstrandischmoor

Ebenso wie die Strandprofile liefern auch die methodisch noch sehr einfachen Profilmessungen auf dem Watt bereits sehr aufschlußreiche Ergebnisse und Erkenntnisse. So einfach die fertig aufgetragenen Profile dann auch aussehen mögen, darf nicht übersehen werden, daß es in der Praxis für die Meßtrupps oft recht schwierig und beschwerlich ist, auf dem Watt die genauen Meßdaten zu gewinnen.

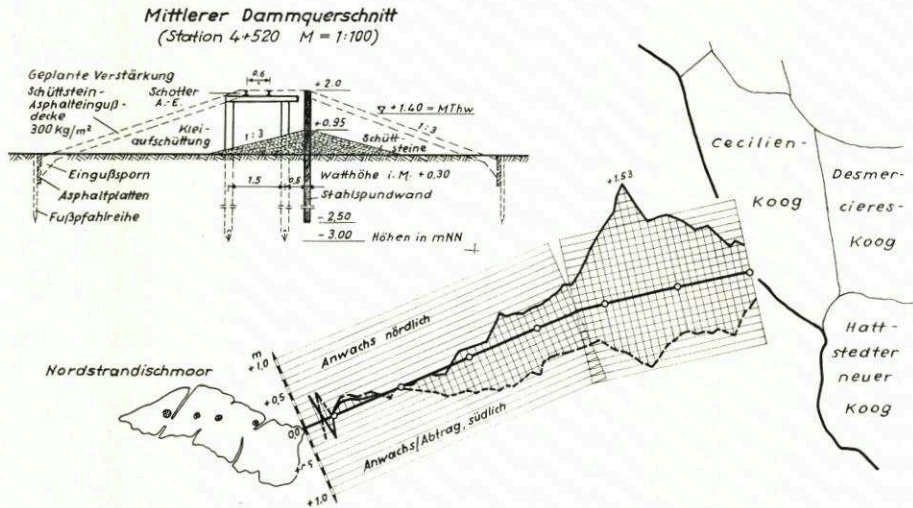


Abb. 8. Anwachs 1933 bis 1958 in 100 m Abstand beiderseits des Dammes Festland — Hallig Nordstrandischmoor

Als Beispiel einer Auswertung seien die Wattvermessungen längs des Dammes Festland — Hallig Nordstrandischmoor behandelt. Aus dem Jahre 1933, unmittelbar vor dem Bau des Dammes, der als Spundwanddamm mit beiderseitiger Steinschüttung an seinem Fuß von 1933 bis 1934 ausgeführt wurde, verfügen wir über eine genaue Erstvermessung. Im Jahre 1958 erfolgte in 100 m Abstand beiderseits des Dammes eine Zweitvermessung, die nun durch Differenzenbildung zur Erstvermessung die Watt Höhenveränderungen im Dammbereich genau festzulegen gestattet.

Die Meßergebnisse sind auf Abbildung 8 im einzelnen dargestellt. Die stabilisierende Wirkung des Dammes auf den Wattrücken zwischen dem Festland und der Hallig durch Trennung



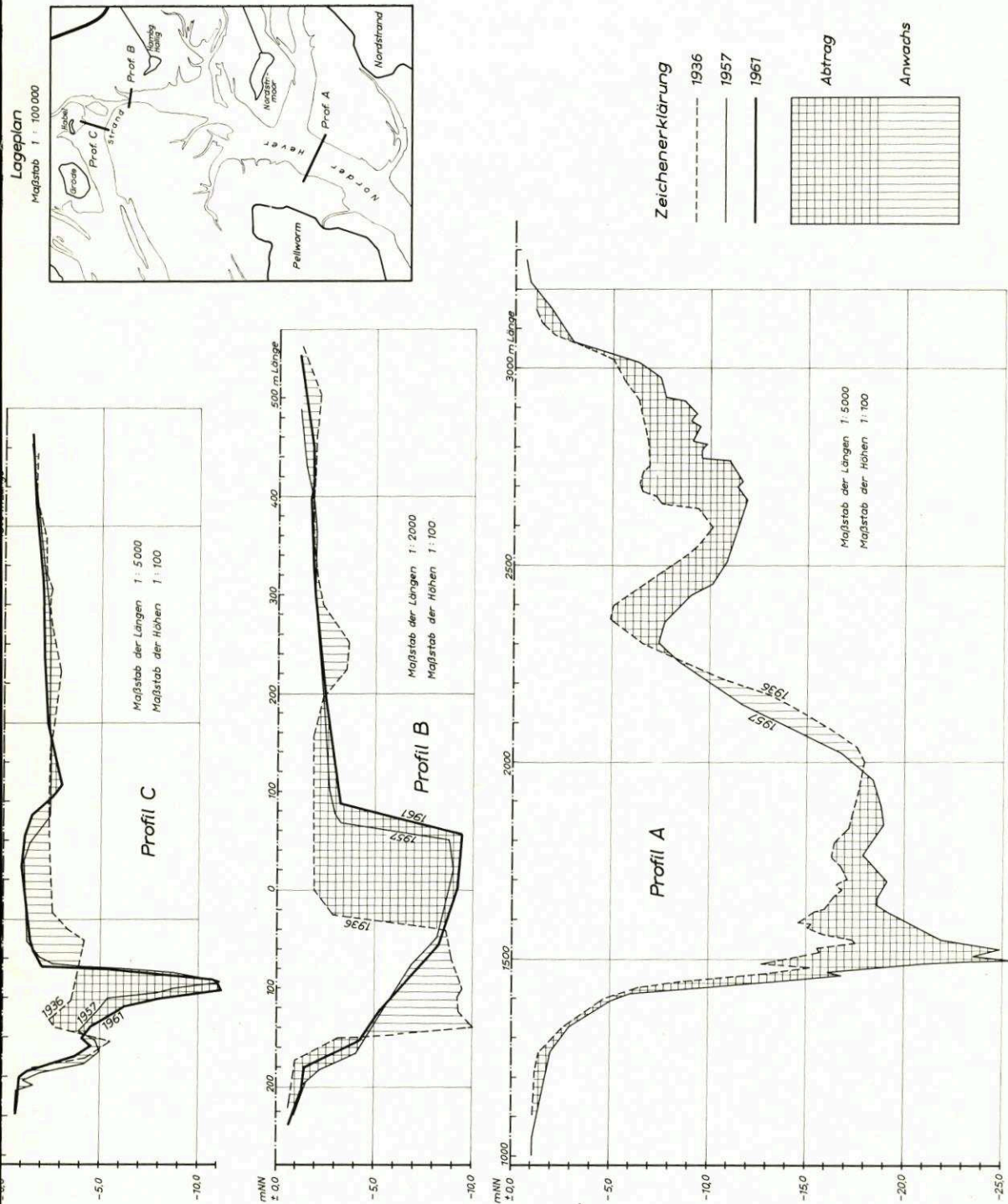


Abb. 9. Veränderungen der Stromrinnen Obere Norderhever — Strand — Obere Südraue 1936 bis 1957 bis 1961

der Hauptprielssysteme der Holmer Fährre und des Butterloches ist unverkennbar. Zugleich bietet der Damm den Landgewinnungswerken in dem Bereich vor dem Festland Basis und Rückhalt. Das Maß der Aufschlickung, das zwar wegen des Verfalls der Lahnungen während des zweiten Weltkrieges und in der Zeit danach teilweise rückläufig war, ist allgemein positiv und auf der südlichen Seite im Durchschnitt etwas größer als auf der nördlichen. Die Höhe des Anwachs nimmt vom Festland zur Hallig hin ab, und unmittelbar vor der Hallig befindet sich auf der Südseite sogar eine kleine Abtragsstrecke.

Die Erscheinung, daß beiderseits der Dämme im Watt der Anwachs besonders kräftig ist, während er zu den Halligen oder Inseln hin geringer wird, folgt einer allgemeingültigen Gesetzmäßigkeit, die auch südlich des Hindenburgdammes durch eine ähnliche Profilmessung nachgewiesen werden konnte (KNOP 1961). Jedoch mit weiter fortschreitender Auflandung erreicht der Anwachs auch die Inseln oder Halligen, wie es z. B. die positive Vorlandentwicklung beiderseits des Dammes zur Hamburger Hallig beweist, der als durchgehende Verbindung seit dem Jahre 1875 besteht.

#### c. Stromrinnenprofile Norderhever — Strand — Süderau

Für die Überwachung der Rinnen der Wattströme und der größeren Priele erweisen sich die herkömmlichen einfachen Profile als besonders geeignet und übersichtlich, da hier nicht selten relativ steile Kanten abbrechen bzw. sich verschieben, Vertiefungen oder Auffüllungen größeren Ausmaßes in den Rinnen entstehen, während sich die allgemeine Lage der Strombetten weniger verschiebt, so daß die Darstellung der Veränderungen in Höhenlinienplänen nur eine wesentlich geringere Anschaulichkeit zu vermitteln vermag.

Zur Demonstration hierzu sind mit Abbildung 9 drei ausgewählte Stromrinnenprofile aus dem Gebiet Norderhever — Strand — Süderau wiedergegeben. Hier ist der Wattrücken zwischen dem Festland und Pellworm durchgebrochen, und als Folge der bereits im Abschnitt 1 behandelten Verdriftung von der Norderhever zur Süderau besteht die Gefahr weiterer, sehr nachteiliger morphologischer Veränderungen. Profil A auf Abbildung 9 zeigt, wie die Norderhever unterhalb des Abzweiges der Holmer Fährre ihr Querprofil zwar abgeflacht, aber dabei verbreitert hat. Am Eingang zum Strand zeigt Profil B besonders anschaulich, wie sich der Durchflußquerschnitt von 1936 bis 1961 mehr als verdoppelt hat! Die zwischengeschaltete Profillinie von 1958 weist nach, daß der ungünstige Abbruch des Ostufers der Rinne zeitlich gleichsinnig verlaufen ist. Zuzufolge Profil C ist südlich von Habel eine schmale, aber beträchtliche Vertiefung der Stromrinne von etwa — 5 m NN auf — 11 m NN eingetreten, die von 1935 — 1954 — 1961 ebenfalls gleichsinnig verlaufen ist.

Die besondere Anschaulichkeit derartiger Querprofile steht außer Zweifel. Um jedoch zu vermeiden, daß durch unvollkommene Auswahl solcher Profile eine subjektive oder verfälschte Tendenz entsteht, müssen derartige Profile für eine wissenschaftliche Bearbeitung verhältnismäßig dicht gelegt oder durch andere, ein flächenhaftes Gesamtbild erzeugende Darstellungen erweitert werden, wie dies z. B. für das Gebiet des Strandes durch die Differenzkarten und ihre eingehenden Auswertungen im Abschnitt 6 erfolgt ist.



#### 4. Mehrfachprofile (dichte Profilverfolgen) Norderoog-Watt

Wie bereits im vorangehenden Abschnitt erwähnt, ist es bei Profildarstellungen und vergleichenden Betrachtungen zur Behandlung der nicht vernachlässigbaren flächenhaften Zusammenhänge notwendig, eine hinreichend dichte Folge von Profilen heranzuziehen.

Im Zusammenhang mit einer Untersuchung zum Schutze der Hallig Norderoog (KNOP 1961) wurde von diesem Verfahren mit Erfolg Gebrauch gemacht. Da die Veränderungen der Halligkante in engem Zusammenhang mit den Umlagerungen des umliegenden Watts stehen, mußte dieses Gebiet mit in die Untersuchung einbezogen werden. Jedoch waren sowohl die Erstvermessung aus dem Jahre 1949 als auch die Zweitvermessung von 1960 verhältnismäßig weitmaschig und teilweise auf unterschiedlichen Stand- und Profillinien erfolgt, so daß kein hinreichend dichtes Netz von Differenzpunkten für die Aufstellung einer an sich wünschenswerten geschlossenen Differenzkarte gewonnen werden konnte (s. Abschn. 6). Um daher einerseits die für eine Differenzkartendarstellung in diesem Falle möglichen Interpolationsfehler zu vermeiden, andererseits aber doch die notwendige räumliche Betrachtung zu ermöglichen, wurde eine Darstellung in Profilverfolgen gewählt, aus der zugleich der Abstand der Profile und somit ein Maß für die Genauigkeit der Untersuchung ersichtlich wird.

Zur Übersicht sind auf Abbildung 10 das die Hallig Norderoog umgebende Wattgebiet mit Norderoogsand und Rummelloch sowie die Lage der Profile dargestellt. Das Maß des Anwachsens und Abtrages ist aus den auf Abbildung 11 vergrößert wiedergegebenen Profilverfolgen ersichtlich.

Diese Meßergebnisse zeigen, daß sich das Watt um Norderoog allgemein aufgehört oder sich zumindest stabil gehalten hat. Diesem günstigen Umstand sowie dem Schutz des im Westen der Hallig liegenden, ausgedehnten Norderoogsandes, eines über +1 m NN, stellenweise auch bis +1,50 m NN ansteigenden Außensandes, wird es zu verdanken sein, daß sich die Hallig Norderoog, die zu keiner Zeit durch wesentliche bautechnische Schutzmaßnahmen gesichert war, überhaupt noch so lange — allerdings unter steten Landverlusten (s. Abschnitt 5) — halten können. Jedoch haben sich im umliegenden Watt einige Priele verlagert oder vertieft. Von besonderem Einfluß ist hierbei ein Priel, der im Süden unmittelbar hinter dem Norderoogsand vom Rummelloch abzweigt und nach Norden verläuft, um zwischen der Hallig und dem Außensand auszulaufen. Dieser Priel wird von den ostwärts driftenden Sandmassen des Norderoogsandes immer mehr in Richtung auf die Hallig hin abgedrängt, so daß die Rinne zwischen Norderoog und dem Norderoogsand zwar schmaler wird, aber gleichzeitig die Tendenz hat, sich zu vertiefen. Dabei schiebt sich die Rinne immer mehr an den Westkopf der Hallig heran und erodiert und gefährdet diesen in besonderem Maße. Das hierbei abgetragene Material wird um den Westkopf herum riffbogenartig nach Nordwesten auf das Watt vor der nördlichen Hälfte der Hallig verfrachtet (Abb. 10 und 11).

#### 5. Umrißveränderungen und Flächenbilanz Norderoog

Kleinere, hydrographisch und morphologisch in sich geschlossene Gebiete eignen sich besonders zu den außerordentlich instruktiven Untersuchungen über die Veränderungen markanter Umrißformen und zu Flächen- oder auch zu Massenbilanzen. Größere Wattgebiete, die nicht eine Art geschlossene „physiographische Einheit“ darstellen, eignen sich hingegen nicht zur Aufstellung solcher Bilanzen, weil sich das Ergebnis je nach Lage der Begrenzung des Gebietes verschiebt (vgl. hierzu Abschnitt 6a).



Die Hallig Norderoog stellt jedoch eine hydrographisch und morphologisch geschlossene Einheit dar, so daß sich hier in sinnvoller Weise eine Flächenbilanz aufstellen läßt und diese auch in Abhängigkeit von der Zeit betrachtet werden kann.

Die Flächengröße der Hallig Norderoog läßt sich, wenn auch mit gewissen Vorbehalten hinsichtlich der Genauigkeit früherer Messungen und Kartierungen, bis etwa zum Jahre 1800 zurückverfolgen. Damals muß die Hallig etwa die fünffache Größe ihres heutigen Flächeninhalts besessen haben. Die jeweilige Größe der Hallig in verschiedenen nachfolgenden Jahren ist in der folgenden Tabelle 3 angegeben:

Tabelle 3  
Flächengröße der Hallig Norderoog

Jahr	ha	Quellenangabe
1802	45,8	(1) SCHULZ/BRUUN
1859	25,9	(1) SCHULZ/BRUUN
1873	22,72.55	(2) MÜLLER, Kataster
1903	(17)	(2) MÜLLER/ROHWEDER (geschätzt)
1909	(21)	(1) SCHULZ/DIETRICH (geschätzt)
1912	22,18.75	(3) MÜLLER, Atlas, Tafel 12, Planimetrierung Meßtischbl. 1:25 000 der Kgl. Preuß. Landesaufn. 1912
1927	14,32.50	(4) Planimetrierung Top. Grundkarte d. Deutschen Reiches 1:5000, Aufn. 1927 (DINGELDEIN), herausg. 1928
1927	(17)	(1) SCHULZ/MBA HUSUM (etwa)
1947	(11)	(1) SCHULZ/FORSCHUNGSSTELLE WESTKÜSTE (etwa)
1960	9,15.20	(5) Planimetrierung Vorarbeitenstelle Nordfriesland, Neuvermessung 1960, Sondermaßstab 1:5000

#### Literaturschlüssel:

1. SCHULZ, H.: Norderoog, Geschichte, Schicksal und Verwaltung. — In „50 Jahre Seevogelschutz“, herausg. W. Meise, Verein Jordsand, Hamburg 1957.
2. MÜLLER, F.: Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste, Erster Teil: Die Halligen, Bd. 2, Reimer, Berlin 1917.
3. MÜLLER, F.: Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste, Erster Teil: Die Halligen, ATLAS (Kartenmappe), Reimer, Berlin 1917.
4. Topogr. Grundkarte des Deutschen Reiches 1:5000.
5. Marschenbauamt Husum — Vorarbeitenstelle Nordfriesland, Bericht Nr. 19/61: Untersuchungen zum Schutz der Hallig Norderoog, vom 14. 2. 1961.

Aus diesen Zahlen ist die auf Abbildung 12 dargestellte Abhängigkeit der Flächengröße aus der Zeit von 1800 bis 1960 aufgestellt worden. Dieses Diagramm macht in sehr drastischer Weise deutlich, daß die Hallig, die nicht durch wesentliche Schutzbauten zu irgendeiner Zeit gesichert worden ist, einen steten Landverlust aufzuweisen hat. Dabei ist es unwesentlich, daß die tatsächliche Landabnahme in der Natur nicht so stetig erfolgt ist, wie es die Kurve im Diagramm auf Abbildung 12 zeigt, sondern daß das Meer je nach Wasser und Wetter in einem Jahre mehr, im anderen weniger genommen hat. Jedoch ist mit einiger Sicherheit aus dem Diagramm zu erkennen, daß die Hallig Norderoog untergehen wird, wenn nicht besondere Schutzmaßnahmen ergriffen werden.

Aus den letzten drei Jahrzehnten liegen genauere Vermessungsunterlagen vor, so daß die Veränderungen des Zeitraumes 1927 bis 1960 auch genauer erfaßt werden können. Zwei als



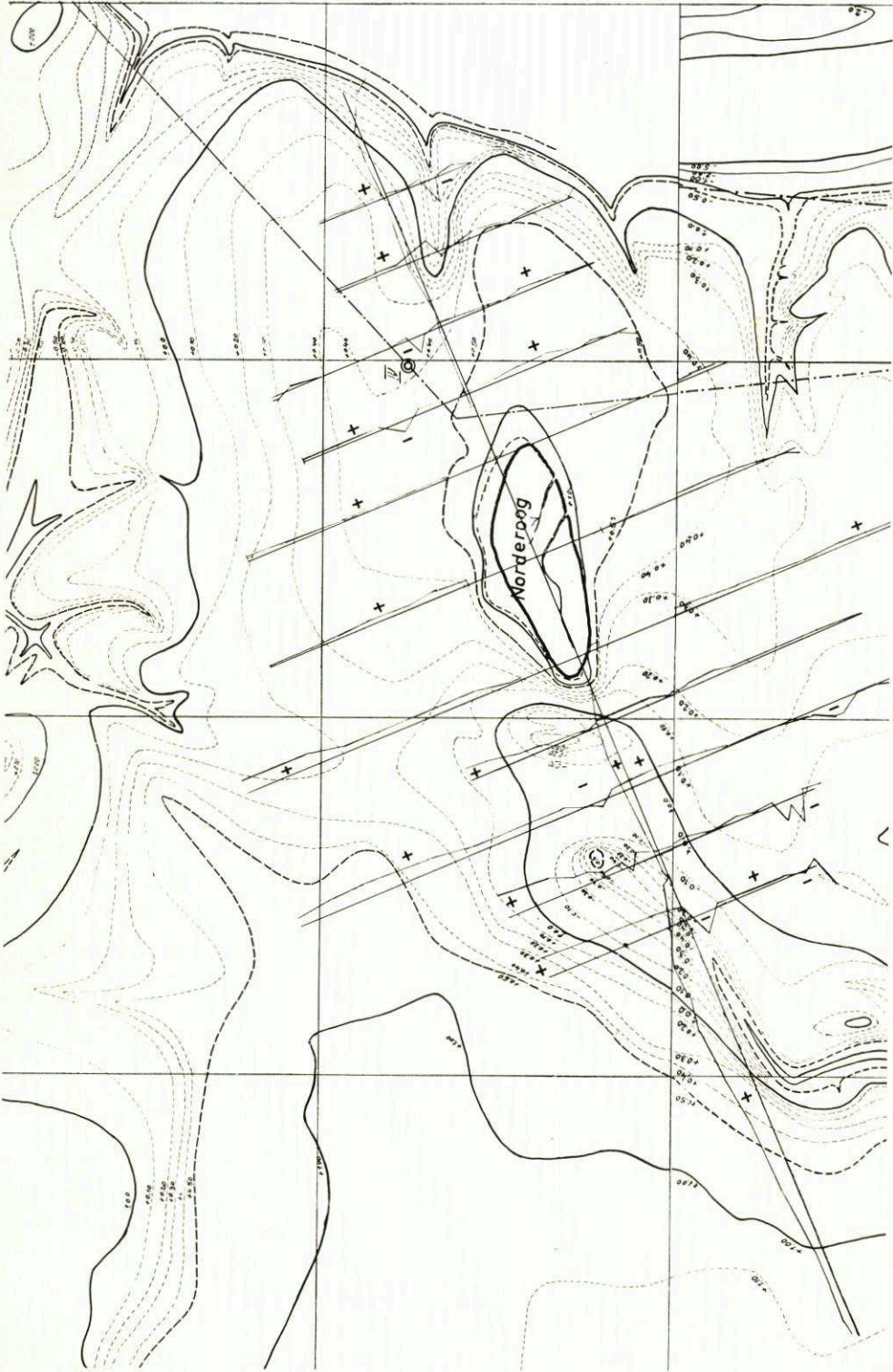


Abb. 11. Norderoog-Watt. Höhenänderungen (Differenzen) 1947 bis 1960 in Mehrfachprofilen aufgetragen

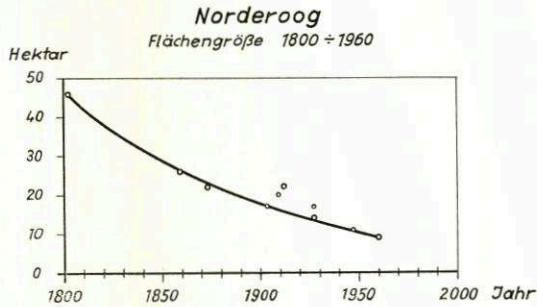


Abb. 12. Veränderung der Flächengröße von Norderoog in Abhängigkeit von der Zeit

sehr zuverlässig anzusehende Halligumrisse längs der grünen Kante sind auf Abbildung 13 lagegetreu ineinandergezeichnet worden. Norderoog hatte nach planimetrischer Ermittlung auf den Grundkarten im Maßstab 1:5000 im Jahre 1927 eine Größe von 14 ha 32 ar 50 m<sup>2</sup> und im Jahre 1960 eine Größe von 9 ha 15 ar 20 m<sup>2</sup>. Daraus ergibt sich für die letzten 33 Jahre ein Landverlust von 5 ha 17 ar 30 m<sup>2</sup>. Dieser Verlust betrifft bis auf ein kurzes, 200 m langes Stück an der Nordostseite fast die ganze Halligkante auf einer heutigen Umrisslänge von 1230 m. Der besonders exponierte Westkopf der Hallig ist am stärksten, in Längsrichtung gemessen um 100 m, zurückgewichen, während die Kante sonst auf der Nordwestseite i. M. 50 m, auf der Südseite i. M. 40 m zurückging (s. Abb. 13).

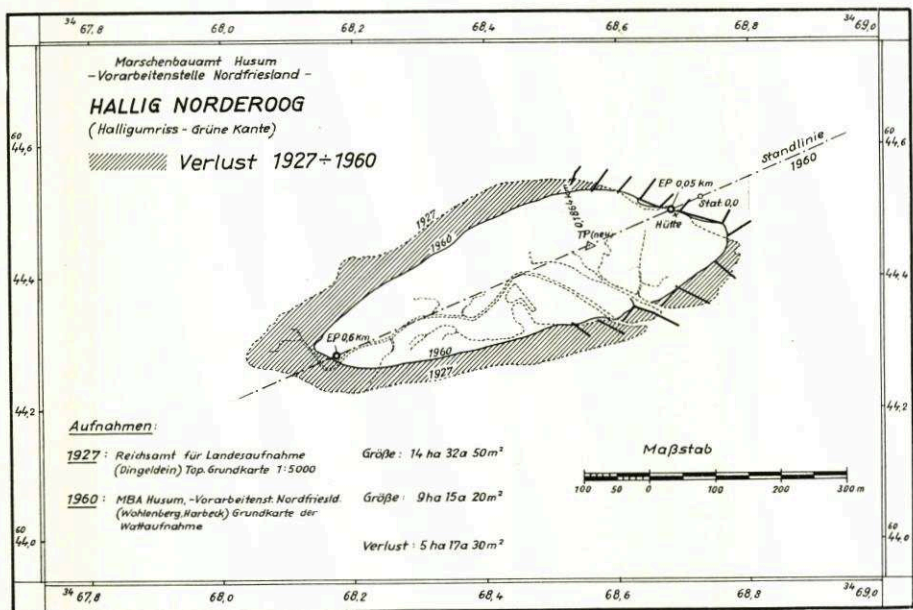


Abb. 13. Veränderungen der grünen Kante von Norderoog

## 6. Differenzenkarten

### a. Dem Betrage nach für Anwachs/Abtrag abgestufte Differenzendarstellung Wattgebiet Festland — Pellworm

Die vergleichende Wattvermessung in größeren Zeitabständen bietet eine zwar nachträgliche, aber doch sehr genaue Möglichkeit, die tatsächlich eingetretenen Wathöhenänderungen und damit schlechthin die morphologischen Veränderungen festzustellen. So lassen sich Ge-



fährdungen für den Bestand des Wattgebietes objektiv nach Maß und Zahl ermitteln, Notwendigkeit und Zweckmäßigkeit bautechnischer Eingriffe prüfen und Hinweise für deren Durchführung geben<sup>1)</sup>).

Die in diesem Abschnitt behandelten Methoden zur Feststellung der Wathöhenänderungen und ihre Auswertungen seien nachfolgend am Beispiel des Wattgebietes zwischen dem Festland und Pellworm behandelt, wie es auf den beiden beigegebenen Differenzenkarten Abbildung 14<sup>2)</sup> und 15 abgegrenzt wird.

Diese räumliche Begrenzung des Gebietes führt zu einer vorwiegend qualitativen Untersuchungsweise, wie z. B.: Erfassung von Vertiefungen der Stromrinnen, von Kantenabbrüchen, von Prielneubildungen und -verlagerungen sowie flächenhaft differenzierte Darstellung von Anwachs- und Abtragsgebieten.

Für eine vorwiegend quantitative Untersuchungsabsicht hat HUNDT (1958) in Büsum für die Dithmarscher Watten ein spezielles Ermittlungsverfahren entwickelt, bei dem das Untersuchungsgebiet in Rasterflächen  $125 \times 125$  m mit horizontaler mittlerer Höhe aufgeteilt wird. Aus der Summierung der Differenzen der mittleren Höhen zweier Vermessungen für jedes Rasterquadrat läßt sich dann leicht mechanisch rechnerisch eine Massenbilanz für ein bestimmtes Gebiet aufstellen.

Auch das für das Wattgebiet Festland — Pellworm gewählte Differenzenverfahren, bei dem beide Vermessungen nach Art und Genauigkeit in der gleichen Weise durchgeführt worden sind, gestattet an sich eine quantitative Auswertung in Form einer Massenbilanz. Jedoch wäre das Ergebnis so lange ohne sinnvollen Aussagewert, als eine solche Massenbilanz sich nicht auf ein — wenigstens in etwa — abgeschlossenes Gebiet, auf eine Art „physiographische Einheit“ bezieht. Denn sonst kann man durch geeignete Wahl der Abgrenzung des Untersuchungsgebietes jedes beliebige Ergebnis erzielen, indem man durch die Begrenzung einige Anwachsflächen (oder Abtragsflächen) ausklammert oder hinzunimmt und dadurch die Massenbilanz entsprechend verschiebt. Für die Aufstellung einer sinnvollen Massenbilanz für die Wattflächen zwischen dem Festland und der Insel Pellworm müßte das gesamte Stromgebiet der Norderhever und der Süderau herangezogen werden, mindestens aber das Gebiet zwischen dem Festland und der Linie Langeneß—Hooge—Pellworm—Südfall—Nordstrand. Die Einbeziehung einer so großen Fläche würde aber bei weitem die praktischen Möglichkeiten der Vorarbeitenstelle Nordfriesland des Marschenbauamtes Husum überschritten haben.

Das hier gewählte Ermittlungs- und Darstellungsverfahren geht daher von einer weitgehend qualitativen Untersuchungsabsicht aus, die sich in Verbindung mit den in Abschnitt 1 mitgeteilten hydrographischen Zusammenhängen als besonders zweckmäßig und aussagefähig erweist.

Die für das Wattgebiet zwischen Pellworm und dem Festland vorgenommene Ermittlung der Wathöhenänderungen und ihre Darstellung in einer Differenzenkarte gehen von den zur Deckung gebrachten Zahlenrissen zweier Wattvermessungen aus. Nach Möglichkeit werden bei jeder Vermessung die gleichen Standlinien und Profile benutzt, so daß zur Bestimmung der Höhendifferenz nur wenig interpoliert werden muß, wodurch auch die Genauigkeit erhöht und der Arbeitsaufwand verringert werden. Können die Profile zweier Vermessungen nicht zur Deckung gebracht werden, so muß auf einem Zahlenriß besonders interpoliert werden. Die so ermittelten Höhendifferenzen werden dann lagegetreu in den Höhenlinienplan der Erstvermessung übertragen und zu Linien gleicher Höhenänderung zusammengefaßt, so daß das „alte“ Gelände mit einer Art Differenzengebirge überlagert wird. Die Bestimmung des Differenzengebirges wird deshalb in einem die ursprüngliche, natürliche Geländeform darstellenden Höhenlinienplan vor-

<sup>1)</sup> Bei der großen Ausdehnung des nordfriesischen Wattgebietes und bei den gelände- und gezeitenbedingten Schwierigkeiten der Wattvermessung erlaubte seither die personell und sachlich begrenzte Kapazität der Vorarbeitenstelle Nordfriesland des Marschenbauamtes Husum keine geschlossene Wiederholungsvermessung des Gesamtgebietes. Die Aufstellung der Differenzenkarten muß sich daher zunächst auf bestimmte, ausgewählte Teilgebiete beschränken, in denen bedeutende Veränderungen zu erwarten sind.

<sup>2)</sup> Abb. 14: Karte der Wathöhenänderungen 1:25 000 = Faltplan in der Tasche am Schluß des Heftes.



genommen, damit willkürliche Interpolationsfehler beim Zeichnen der Linien gleicher Differenzen vermieden werden, denn die Differenzlinien haben nur Sinn, wenn sie in Zusammenhang mit dem betreffenden Gelände erarbeitet werden, da z. B. bei einem längeren Kantenabbruch oder bei der Auffüllung einer Rinne die Differenzlinien ähnlich verlaufen müssen wie die Höhenlinien der Kanten oder der Rinnen selbst.

Zur Auftragung des Differenzengebietes in den Höhenlinienplan wird bewußt der Plan der Erstvermessung gewählt. Einmal entspricht dies einer logischen zeitlichen Reihenfolge. Dem alten Gelände werden die gemessenen Differenzen überlagert, woraus sich die Form des neuen Geländes ergibt, dessen Höhenlinienplan man dann auch noch überlagern kann, sofern er auf transparenter Folie dargestellt ist. Insbesondere aber würde man zu Fehlschlüssen gelangen, wenn man das Differenzengebiet im Zusammenhang mit dem neuen Gelände (Zweitvermessung) auftragen würde. Wenn sich zum Beispiel auf einer ehemaligen Plate ein Priel völlig neu eingräbt, würde man bei der Darstellung der Differenzlinien auf dem Höhenlinienplan des neuen Geländes (Zweitvermessung) zu dem Fehlschluß kommen, daß sich ein „vorhandener“ Priel vertieft hat. Nur bei der Darstellung der Differenzen auf dem Höhenlinienplan der Erstvermessung kommt man zu dem richtigen Ergebnis, daß sich auf einer Plate, dargestellt durch die Höhenlinien des alten Geländes, ein bisher nicht vorhandener Priel ganz neu gebildet hat, dargestellt durch die negativen Differenzen auf dem Höhenplan des alten Geländes.

Die zeichnerische Darstellung der Wathöhenänderungen in übersichtlicher Form ist nicht ganz einfach. Man könnte zunächst auf den Gedanken kommen, das Differenzensystem für sich allein darstellen zu wollen. Dies ist jedoch deshalb nicht zweckmäßig, weil man z. B. Kantenabbrüche von Prielneu- oder -umbildungen nur schwer unterscheiden könnte. Die Auswertung der Höhenänderungen hat daher nur Sinn, wenn sie in Zusammenhang mit der jeweiligen Geländeform steht.

Nach verschiedenen Versuchen ist daher zur Darstellung der Wathöhenänderungen eine durchsichtige, abgestufte rasterartige Signatur entwickelt worden, die der Geländedarstellung der Erstvermessung überlagert wird. Die gewählte Signatur ist auf der Zeichenerklärung zur Karte der Wathöhenänderungen (Abb. 14)<sup>3)</sup> dargestellt. Zweckmäßigerweise werden für Anwuchs und Abtrag zwei verschiedene Farben gewählt (z. B. Anwachs grün, Abtrag rot).

Die Einteilung des Rasters ist in ungleichen Höhenstufen erfolgt, weil sich bei der Bearbeitung gezeigt hat, daß flächenhaft verbreitete Anwachs- oder Abtragsgebiete gewöhnlich nur Höhenänderungen bis  $\pm 1,0$  m aufweisen, so daß für diesen Bereich eine Unterteilung in  $0,2 - 0,6 - 1,0$  m erforderlich wird, während sich die größeren Höhenänderungen von  $1,0$  m bis über  $10,0$  m allgemein auf die steilen Kanten und Rinnen der Priele und Wattströme beschränken, so daß hier, auch wegen der Größe der Beträge, eine größere Stufenteilung von  $1 - 2 - 5 - 10$  m hinreichend erscheint. Zwischen den Anwachs- und Abtragsflächen liegt eine Null-Linie. Veränderungen beiderseits dieser Linie bis zum Betrage von  $\pm 0,2$  m bleiben ungerastert. In diesen Zonen geringer Veränderungen liegen auch die auszuklammernden kurzfristigen, zufälligen Höhenänderungen, wie sie z. B. von Strandwällen bekannt sind, die innerhalb einer oder weniger Tiden auf- und abgebaut werden können.

Nach der vorgeschriebenen Methode ist die hier behandelte Differenzkarte (Abb. 14)<sup>4)</sup> des Wattgebietes zwischen dem Festland und Pellworm angefertigt worden. Dieser Untersuchung liegen die Vermessungen der Jahre 1935/37 und 1955/57 zugrunde. Die Höhenänderungen beziehen sich also auf einen rund zwanzigjährigen Zeitraum. Die beigegebene Differenzkarte ist zunächst im Arbeitsmaßstab  $1:10\,000$  aufgestellt worden, wobei die Geländedarstellung 1935/37 schwarz, das Raster für Anwachs grün und das für Abtrag rot gezeichnet worden sind. Das Landesvermessungsamt Schleswig-Holstein hat danach eine fotomechanische Verkleinerung auf den Maßstab  $1:25\,000$  und den dreifarbigen Zusammendruck besorgt.

Durch ein eingehendes Studium dieser Differenzkarte läßt sich nun unter Einbeziehung der Gezeitenbewegungen eine Fülle bedeutsamer Erkenntnisse über die Wechselwirkungen zwischen Hydrographie und Morphologie finden:

<sup>3)</sup> Faltpapier in der Tasche am Schluß des Heftes.

<sup>4)</sup> Faltpapier in der Tasche am Schluß des Heftes.



### Norderhever

Im Oberlauf dieses Wattstromes treten auffallend hohe Beträge von Anwachs und Abtrag in der Größenordnung von  $\pm 1$  bis  $\pm 5$  m (in Einzelfällen bis  $\pm 10$  m) dicht nebeneinander auf. Es handelt sich dabei vor allem um starke Abbrüche an den Kanten des Strombettes, besonders im Tiefenbereich von  $-1$  m NN bis  $-5$  m NN. Unmittelbar daneben erfolgt eine Auffüllung der tiefsten Teile der Rinnen. Auch Unterwasserbänke zwischen zwei oder mehreren Rinnen werden mit diesen nivelliert.

Dies bedeutet, daß die Norderhever ihr Profil in ihrem Oberlauf energisch verbreitert, teilweise unter Abflachung tieferer Rinnen, an anderen Stellen teilweise unter Vertiefung des Strombettes. Dieser Vorgang ist die Folge der in dem vorangegangenen Abschnitt 1 behandelten kräftigen Gezeitenbewegungen in der oberen Norderhever.

### Süderaeue

Ganz im Gegensatz zur Norderhever treten an den Rändern des Bettes der oberen Süderaeue Anlandungen auf, die zum Teil mit dem Anwachs auf der nördlichen Hälfte der Pellwormer Plate in Verbindung stehen. Aber das eigentliche Strombett der oberen Süderaeue wird in großer Breite bis zur Hallig Habel erodiert. Dieses Ergebnis mag zunächst überraschen, wenn man sich daran erinnert, daß die gemessenen Stromgeschwindigkeiten in der oberen Süderaeue wesentlich geringer sind als in der oberen Norderhever. Die Spitzengeschwindigkeiten zwischen Nipp- und Springtide betragen zum Beispiel:

Pos. 3602 (Strand Süderaeue)	rund 55 bis 70 cm/s
Pos. 3605 (Ochsensand Norderhever)	rund 90 bis 115 cm/s

Aber es kommt offenbar wesentlich mehr auf die Form der Geschwindigkeitskurve an, d. h. auf die Zeitdauer der einzelnen Geschwindigkeitsstufen und ihr Verhältnis bei Flut- und Ebbstrom. Die weit ausgreifende, flächenhafte Erosion in der oberen Süderaeue überrascht nicht mehr, wenn man die Geschiebefrachtzahlen multipliziert mit der wirksamen Stromdauer von der Position 3602 (Strand Süderaeue) für Ebbe und Flut einander gegenüberstellt, wobei sich ein Verhältnis Ebbe:Flut = 2:1 ergibt (KNOP 1961).

### Der Strand

Es kann nicht verwundern, daß hier an dem Engpaß, durch den Norderhever und Süderaeue ständig miteinander verbunden sind, um bei Hochwasser verdriftende Wassermassen zur Süderaeue zu führen und um bei Niedrigwasser das umgekehrte starke Gefälle durch einen kräftigen Rückstrom zur Norderhever auszugleichen, eine kräftige Ausräumung stattfindet. Die Verbindungsrinne am Strand hat sich sowohl beträchtlich vertieft als auch verbreitert, besonders an der Innenkante der Krümmung zur Pellwormer Plate hin, wo das Wasser offenbar den kürzesten Weg zwischen Norderhever und Süderaeue sucht.

Am Strand wird infolge der Verbindung der beiden großen Wattströme der Wattssockel von Pellworm mit jeder Tide fortschreitend vom Festland „abgesägt“. Dieser sehr ungünstigen natürlichen Entwicklung kann nur noch durch eine durchgreifende bautechnische Maßnahme zur Trennung der Stromgebiete, d. h. durch den Bau eines Dammes Festland — Pellworm, begegnet werden.



### Rummelloch

Eine weitere Gefährdung des Pellwormer Wattsockels, die sich ähnlich entwickeln kann wie die am Strand, besteht unmittelbar nördlich der Insel im Gebiet des Rummellochs. Der Wattstrom Rummelloch-West tritt von See her zwischen Norder- und Süderoogsand, weiter zwischen Hooge und Pellworm in das Wattgebiet ein und hat über eine topographische Wasserscheide nordwestlich vom Pellwormer Bupheverkoog hinweg Verbindung mit dem Rummelloch-Ost, einem Nebenarm der Norderhever. Infolge des größeren Tidehubs in der Norderhever tritt über Hochwasser eine Verdriftung zum Rummelloch-West und um Niedrigwasser ein Rückstrom zum Rummelloch-Ost ein. Der Rückstrom wird im Gegensatz zu den Verhältnissen am Strand zur Niedrigwasserzeit durch die trocken fallende topographische Wasserscheide unterbrochen, so daß hier die Lage noch nicht so kritisch wie am Strand ist. Immerhin hat sich aber das Rummelloch, wie die Untersuchung der Watthöhenänderungen ausweist, über die Wasserscheide des östlichen und westlichen Armes hinweg durchgehend vertieft, und es muß damit gerechnet werden, daß es einem Zustand wie am Strand, d. h. einer sich vertiefenden und verbreiternden Rinne, die auch bei Niedrigwasser ständig von Wasser durchströmt wird, zustrebt. Dieser ungünstigen Entwicklung kann gleichfalls mit einem Dammbau Festland — Pellworm begegnet werden.

### Rocheley Sand

Die morphologisch sehr nachteiligen Wirkungen der Verdriftungen mit ihrer Neigung zu Durchbrüchen zeigen sich auch im Gebiet des Rocheley Sandes nördlich der Halligen Habel und Gröde. Das östliche Wattgebiet dieses Rückens wird bei Flut vom Bongsieler Loch her mit Wassermassen der Norderhever und der Süderau überstaut. Mit fallendem Wasser verdriften aber die Wassermengen nach Südwesten und fließen teilweise durch eine flache Mulde zwischen Habel und Gröde sowie durch den Schlütt zwischen Gröde und Oland zur Süderau hin ab.

Dieses hat größere, flächenhaft verbreitete Abträge bis zu einem Meter in den Gebieten nördlich und westlich von Habel und Gröde zur Folge. Zugleich wird das erodierende Ebbstromübergewicht im Schlütt und im Oberlauf der Süderau selbst durch die zusätzlichen Ebbstromwassermengen gefördert.

Auch dieser unvorteilhaften Entwicklung kann gleichzeitig bei einem Dammbau Festland-Pellworm entgegengetreten werden, sofern die Linienführung über Habel zum neuen Seedeich vor Fahretoft — Bongsiel gewählt wird, was auch aus verschiedenen anderen, in diesem Zusammenhang nicht zu behandelnden weiteren Gründen als die günstigste Lösung angesehen wird.

### Watrücken Pellwormer Plate

Bereits bei oberflächlicher Betrachtung der Watthöhenänderungen tritt der beängstigende Griff der Norderhever in den Watrücken nordöstlich von Pellworm deutlich hervor. Nahezu sämtliche Priele, die von der Norderhever und dem Rummelloch-Ost her wie gierige Finger in das Watt hineingreifen, haben sich verbreitert, vertieft und verlängert. Daneben haben sich an verschiedenen Stellen, an denen vor zwanzig Jahren noch ein durchgehender Watrücken verlief, einige Priele mit einem beträchtlichen Erosionseinzugsgebiet völlig neu gebildet. Ein neuer Durchbruch von der Norderhever zur Süderau im Gebiet des früheren Beens Ley (etwa in der Linie Nordstrandischmoor — Gröde) zeichnet sich zwar noch nicht mit Sicherheit



ab, doch haben sich hier bereits zwei große Abtragsgebiete von der Norderhever und der Süderaue her fast bis zur Berührung genähert.

Generell betrachtet liegt der heverseitige Hang der Pellwormer Plate im Abtrag, während jenseits der topographischen Wasserscheide nach der Süderaue hin größere Anwachsflächen zu finden sind, die sich auch über den Strand hinaus bis in das Gebiet südlich von Habel erstrecken. Dies erklärt sich aus dem Verlauf der Gezeitenbewegung. Beim Zusammentreffen der Flutströme von Norderhever und Süderaue entsteht über dem Wattrücken ein Stauwassergebiet, das infolge des Übergewichts der Norderhever nach der Süderaue hin gedrängt wird, so daß hier der Anwachs durch die im Staugebiet ausfallenden Sinkstoffe gefördert wird. Dabei erfolgt auch eine Verdrängung der Wassermassen in nordöstliche Richtung, so daß sich der süderau-seitige Anwachs bis zum Bongsieler Loch hinzieht.

Auch der landwärtige Teil des Rocheley Sandes, der einer ähnlichen Verdriftung vom Bongsieler Außenpriel zum Schlütt hin unterliegt, zeigt auf der Nordwestseite des Rückens ein mit dem Festland zusammenhängendes Anwachsgebiet.

### Vor dem Festland

Vor der Festlandsdeichlinie zwischen Dagebüll und der Hamburger Hallig liegt ein fast durchgehender Anwachsstreifen — insbesondere in den Landgewinnungswerken — von einigen Dezimetern Höhe. Dieser Anwachs ist jedoch kein eigentlicher Substanzgewinn, da er (zumindest teilweise) erst durch Abtrag anderer Wattgebiete entstanden ist.

\*

Die vorstehende Auswertung der sehr differenzierten Karte der Watthöhenänderungen (Abb. 14) gestattet also, eine Vielzahl wesentlicher Erkenntnisse und Schlußfolgerungen in allen Einzelheiten nachzuweisen. Allerdings ist die angewandte Methode hinsichtlich der Aufbereitung der Meßwerte wie auch hinsichtlich ihrer Darstellung und Vervielfältigung, die in dreifarbigter Form praktisch nur durch einen Druck möglich ist, verhältnismäßig aufwendig. Jedoch ist in einem solchen, wie dem hier vorliegenden Falle des Wattgebietes Festland — Pellworm, das — wie gezeigt — durch zahlreiche ungünstige Umlagerungen bedroht wird, ein derartiger Aufwand immer erforderlich und unter Berücksichtigung der daraus gewonnenen Erkenntnisse mehr als gerechtfertigt und lohnend.

### b. Differenzkarten mit schematischer Darstellung von Anwachs/Abtrag Wattrücken Festland — Föhr — Amrum Odde

Eine vereinfachte Methode zur Darstellung der Watthöhenänderungen bieten die nicht abgestuften, Anwachs und Abtrag lediglich mit getrennten Schwarz-Weiß-Signaturen pauschal darstellenden Differenzkarten. Der Darstellungsaufwand ist hier wesentlich geringer. Naturgemäß geht aber dabei manche Einzelheit verloren. Andererseits wird eine Steigerung der Übersichtlichkeit erreicht. Die besondere Aufgabe besteht dann darin, für die jeweilige Untersuchungsabsicht die am besten geeignete Methode zu wählen.

Für das bereits untersuchte Wattgebiet Festland — Pellworm ist mit Abbildung 15 zum Vergleich mit der abgestuften Differenzkarte noch eine Differenzendarstellung in sche-



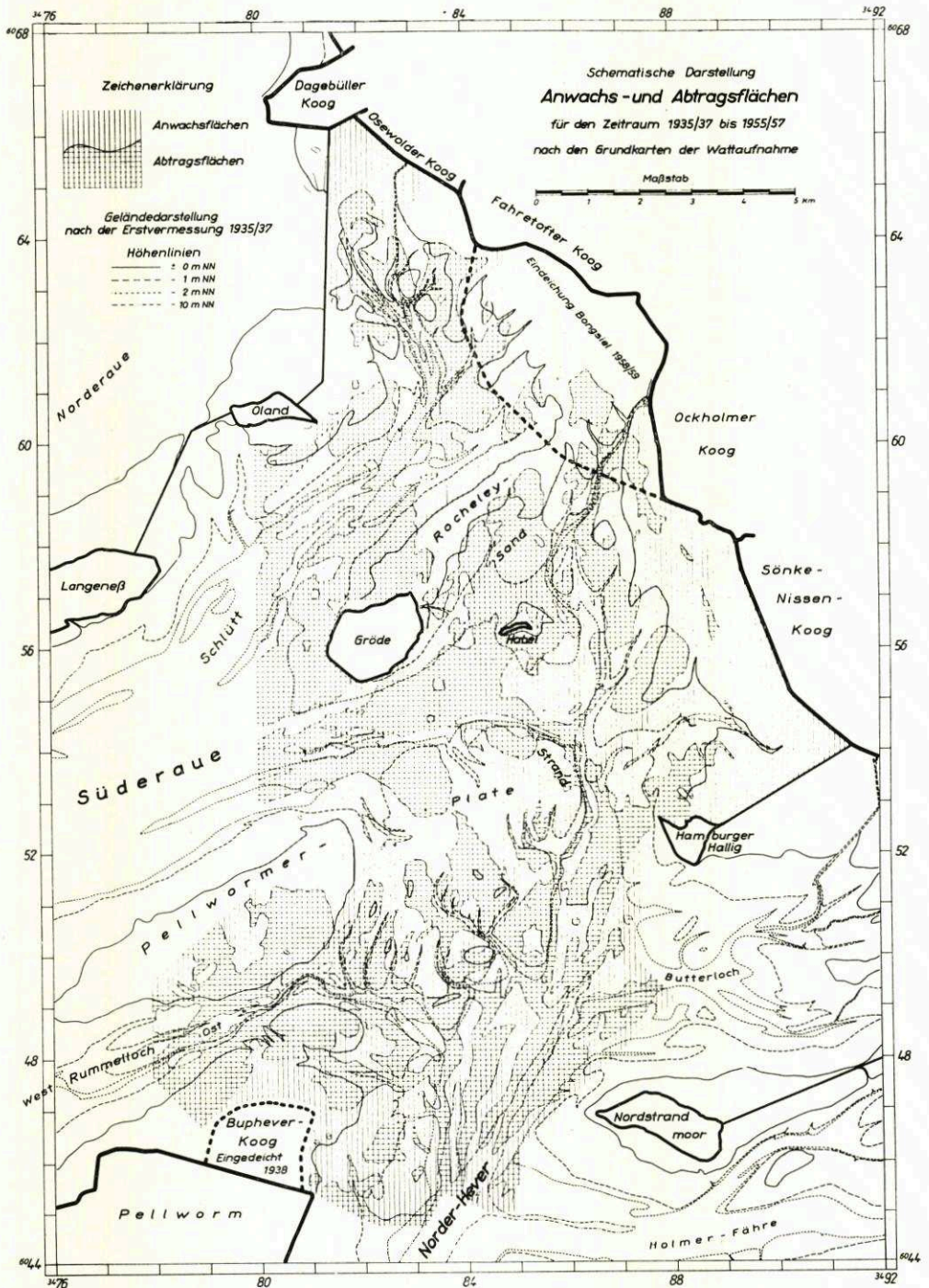


Abb. 15. Veränderungen des Wattgebietes Festland — Pellworm



matischer Form beigegeben. Eine solche Karte hat in diesem Falle weniger den Zweck, Einzelunterlagen darzustellen und damit genaue Nachweise zu führen, als vielmehr die aus der abgestuften Differenzkarte (Abb. 14) bereits gewonnenen Erkenntnisse einem Nachlesenden zu erläutern und übersichtlich zu machen.

Auch für die Wattrücken Festland — Föhr — Amrum Odde sind zwei Differenzkarten in dieser Art (Abb. 16 und 17) durch die Vorarbeitenstelle Nordfriesland des Marschenbauamtes Husum aufgestellt worden. Diese Untersuchungen basieren auf Arbeitsunterlagen im Maßstab 1 : 10 000 (Grundkarten der Wattaufnahme). Die Erstvermessungen erfolgten in den Jahren 1947/49, die Zweitvermessungen für das Wattgebiet Festland — Föhr im Jahre 1959, für den Wattrücken Föhr — Amrum Odde im Jahre 1960. Auf die Wiedergabe von großmaßstäblichen, abgestuften Differenzkarten kann für diese Gebiete verzichtet werden; denn die Wathöhenänderungen schwanken hier in geringeren Grenzen, und die Gebiete sind nicht so stark durch tiefe Stromrinnen und Hauptpriele zergliedert wie im Watt Festland — Pellworm. Dessen ungeachtet gestatten aber auch die beiden hier beigegebenen Differenzkarten (Abb. 16 und 17) mit lediglich schematischer Darstellung von Anwachs und Abtrag eine große Zahl recht bedeutsamer Erkenntnisse über die Entwicklung der Wattgebiete.

Dabei bleibt ständig zu beachten, daß Hydrographie und Morphologie der Wattstromgebiete, hier der Norderaue und des Hörnum Tiefs, in enger gegenseitiger Abhängigkeit stehen (Abschnitt 1). Die Norderaue weist einen größeren Tidehub auf als das Hörnum Tief, so daß allgemein ein „Quergefälle“ über Hochwasser nach dem nördlichen System entsteht, über Niedrigwasser in umgekehrter Richtung, was jedoch wegen der dann trockenfallenden Wattrücken zunächst nur wenig wirksam wird. Im Mittellauf der Wattströme herrschen unter mittleren Verhältnissen mehrere Stunden anhaltende hohe Stromgeschwindigkeiten (Größenordnung etwa 100 bis 140 cm/s, Hörnum Tief 180 cm/s). Dabei sind Flut- und Ebbstrom etwa gleich stark und die Stromrinnen sehr tief, so daß gefolgert werden muß, daß Material sowohl in Richtung Unterlauf als auch in Richtung Oberlauf erodiert und verfrachtet wird. Nach dem Oberlauf und den Hauptpriele hin überwiegt der landwärts gerichtete Strom, soweit diese Erscheinung nicht überlagert wird durch die aus dem genannten „Quergefälle“ resultierenden Verdriftungen von der Norderaue und dem Amrum Tief zum Hörnum Tief über die jeweiligen Wattrücken mit entsprechenden morphologischen Umlagerungen.

#### Wattrücken Festland — Föhr

Beim Vergleich der Anwachs- und Abtragsflächen dieses Gebietes, wie sie auf Abbildung 16 wiedergegeben sind, fällt zunächst auf, daß auf der südöstlichen Hälfte des Wattrückens, also im Bereich des Stromsystems der Norderaue, d. h. im Bereich des stärkeren Stromsystems mit dem größeren Tidehub, von dem die Verdriftungen ausgehen, die Abtragsflächen in größerer Häufigkeit auftreten als jenseits der topographischen Wasserscheide zum Hörnum Tief hin. Die allgemeine Erscheinung der durch die Verdriftung bedingten Verschiebung der Sinkstoffablagerungen, die sonst im Stillwassergebiet (Stromscheide) beim Zusammentreffen zweier gleichartiger Gezeitenwellen ohne Phasenverschiebung auftreten, bestätigt sich auch hier.

Das Maß des Abtrages reicht im allgemeinen bis zur Größenordnung von einem Meter. Die Abtragsflächen liegen, wenn man sie noch generell betrachtet, im Bereich der oberen Norderaue unregelmäßig und systemlos verstreut. Das ist die Auswirkung der starken Verbreiterung des Stromgebietes der oberen Norderaue zwischen Föhr und dem Festland mit einer entsprechenden Verwilderung der Stromrinne, die sonst von Höhe Wittdün bis Wyk zusammengefaßt und eindeutig ausgeprägt verläuft. Dementsprechend werden im Oberlauf der Norderaue



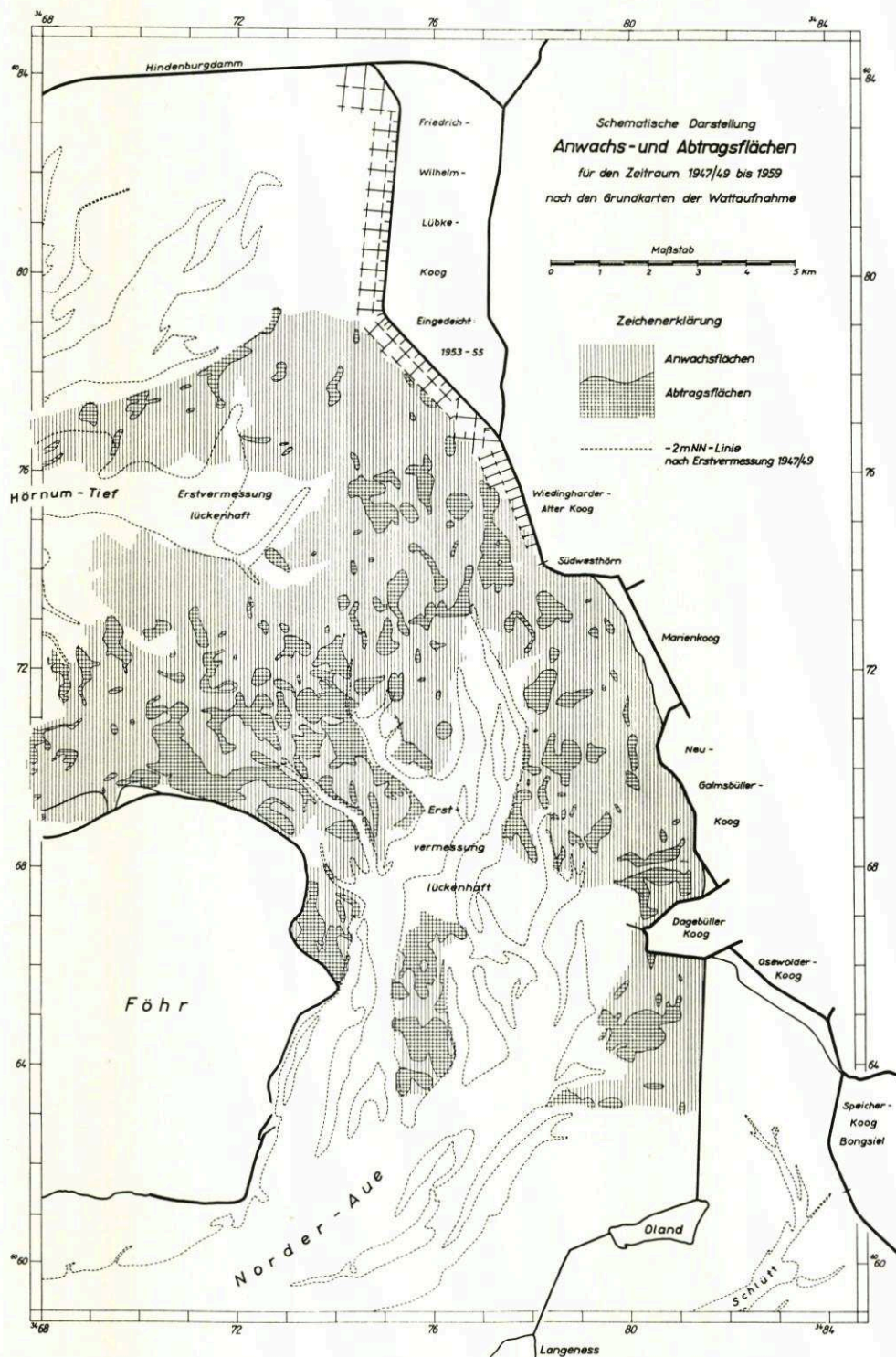


Abb. 16. Veränderungen des Wattgebietes Festland — Föhr



häufigere, zufällige und kurzfristige Veränderungen auftreten, die zwar überwacht werden müssen, die zunächst aber, sofern sie nicht sehr große Flächen einnehmen und die vorhandenen Küstenschutzbauten und Deiche nicht unmittelbar bedrohen, noch hingenommen werden können, um der auslaufenden Flutwelle einen Raum zum Energieverzehr zu belassen.

Ungünstiger hingegen liegen die Verhältnisse in zwei Rinnensystemen nordöstlich von Föhr. Das erste System ist das von der Norderaue her auslaufende Föhrer Ley selbst. Dieses hat sich in seiner südlichen Hälfte durchgehend vertieft und verbreitert mit ausgedehnteren Erosionseinzugsgebieten besonders nach der Föhrer Seite hin. Ein zweites Prielsystem befindet sich zwischen dem Föhrer Ley und der Nordostecke von Föhr. Dieses hat in Form einer kleineren Rinne ebenfalls Verbindung zu den Ausläufern des Hörnum Tiefs. Es besitzt gleichfalls ziemlich durchgehende und ausgedehnte Abtragsflächen, die teilweise bis an die Deiche von Föhr heranreichen. Unterstützt wird die ungünstige Entwicklung noch durch große Baggerlöcher und deren Zufahrtsrinnen, die unmittelbar vor der Deichlinie parallel zu dieser verlaufen. Künftige Zufahrtsrinnen sollten daher vom nächstgelegenen größeren Priel möglichst (recht-)winklig zum Deich an die Entnahmestellen herangeführt werden, um die sich nachteilig auswirkenden Längsströmungen nicht noch künstlich zu fördern.

Diese ungünstigen Wattveränderungen vor der Nordostecke von Föhr zeigen eine sehr ungünstige Entwicklung, die sich zu einer akuten Gefahr ausweiten kann, wenn sie gleichsinnig weiter anhält. Hierzu besteht wegen der einseitigen Verdriftungen von der Norderaue zum Hörnum Tief eine ständige, natürliche Tendenz, so daß es notwendig werden kann, die genannten nachteiligen Wattumlagerungen durchgreifend durch einen Dammbau Festland — Föhr zur Trennung der Wattstromsysteme Norderaue/Hörnum Tief zu unterbinden und eine Stabilisierung der Watten im Oberlauf der Wattströme zu erreichen.

Die Notwendigkeit hierzu kann sich schon in relativ kurzer Zeit ergeben, wenn man bedenkt, daß sich die jetzt festgestellten negativen Veränderungen nur auf den verhältnismäßig kurzen Zeitraum der letzten zehn Jahre beziehen. Dieses Gebiet wird deshalb zumindest der besonderen Überwachung bedürfen.

#### Wattrücken Föhr — Amrum Odde

Dieses Wattgebiet ist gekennzeichnet durch weitverbreitete, zusammenhängende Abtragsflächen, die Abbildung 17 deutlich wiedergibt. Die Abtragsflächen überwiegen offensichtlich. Wenn das Maß des Abtrags zunächst auch allgemein nur im Dezimeterbereich bis zur Größenordnung von einem Meter liegt, so schafft doch das Ausmaß der Verbreitung einen bedenklichen Zustand, zumal auch hier mit einer einseitig ungünstigen Weiterentwicklung wegen der Verdriftung vom Amrum Tief zum Hörnum Tief gerechnet werden muß. Ebenso umfaßt der beobachtete Zeitraum nur die verhältnismäßig kurze Zeitspanne der letzten zehn Jahre, so daß eine relativ schnelle weitere nachteilige Entwicklung eintreten kann.

Das Amrum Tief gabelt sich in seinem Oberlauf in zwei Arme. Der eine verläuft hinter und um Amrum Odde zum Hörnum Tief mit einem ausgedehnten Erosionseinzugsgebiet, das bis an die Dünen von Amrum Odde heranreicht, die selbst nur einen labilen Nehrungshaken darstellen. Der zweite Arm verläuft weit nach Norden ausgreifend längs der Westküste von Föhr mit verbreiteten Abtragsflächen bis unmittelbar an die Deiche bzw. Steilkante im Westen und Südwesten von Föhr.

Dieses bedeutet eine besonders ungünstige Entwicklung und auch eine Gefahr für die West- und Südwestküste von Föhr. Ferner liegt das gesamte Watt zwischen Amrum Odde und Föhr, wie dargestellt, weitgehend im Abtrag, so daß die Gefahr eines Durchbruchs Amrum Tief —

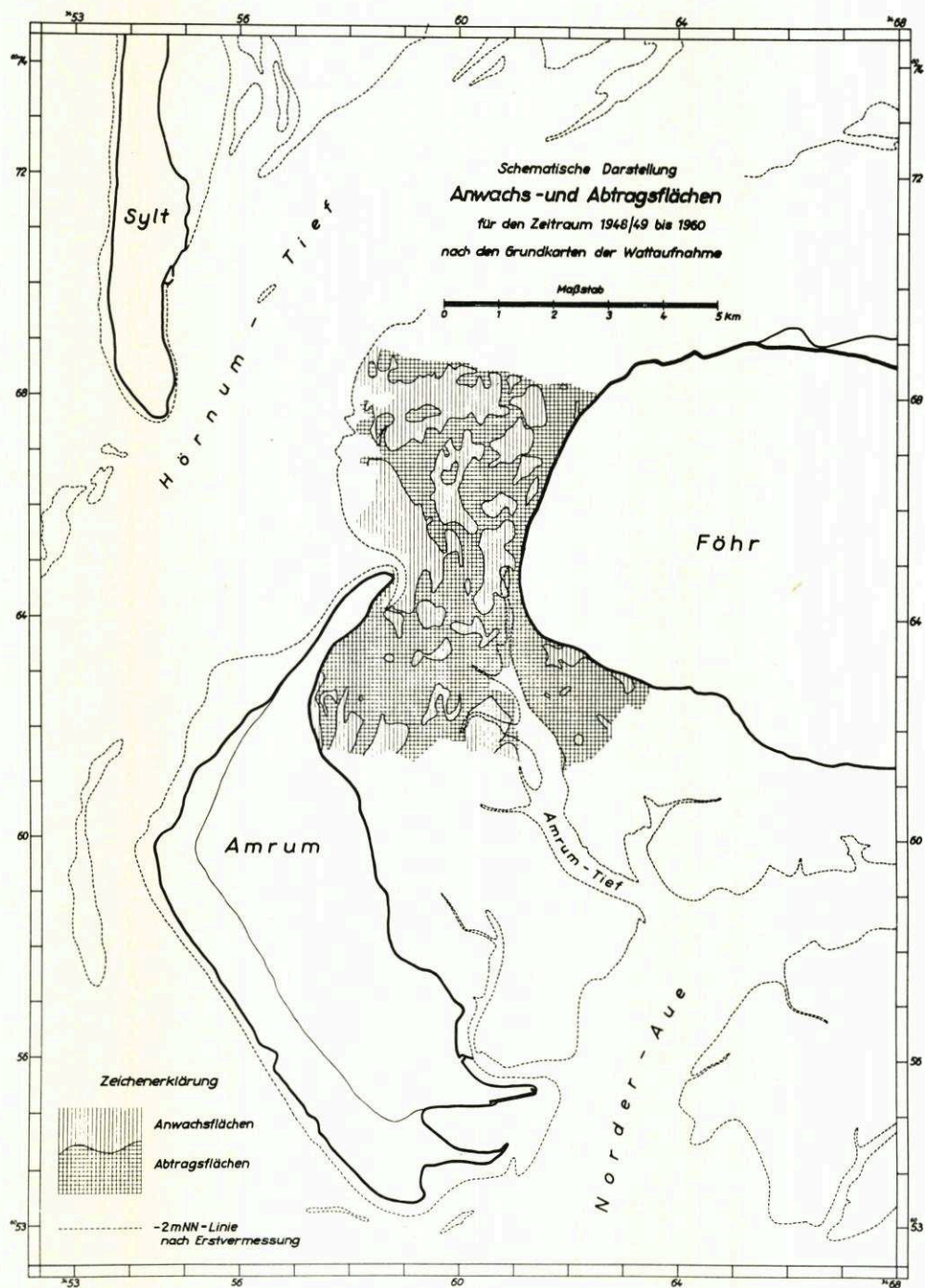


Abb. 17. Veränderungen des Wattgebietes Föhr — Amrum Odde



Hörnum Tief gegeben ist. Die notwendige, durchgreifende Verbesserung dieser ungünstigen Situation muß durch einen Dammbau herbeigeführt werden, der das weitere Vordringen des Amrum Tiefs in seinem Oberlauf und wegen der ständigen Verdriftung einen Durchbruch zum Hörnum Tief verhindert und der ferner nach Trennung und Beruhigung der Stromsysteme eine Stabilisierung des Watts längs des Dammes bewirkt. Darüber hinaus würde ein solcher Damm auch die westlichen Teile der Föhrer Südküste, einer Steilküste, die seit Jahren beträchtliche Kantenabbrüche aufweist, in gewissem Umfange mit schützen, da bei Nordwestwindlagen diese Bereiche auf der geschützten Leeseite des Dammes liegen würden (KNOP 1961).

\*

Vergleicht man die in diesem Kapitel durch Differenzkarten näher untersuchten Watt-rücken: Festland — Pellworm, Festland — Föhr sowie Föhr — Amrum Odde hinsichtlich des Ausmaßes der ungünstigen Veränderungen, um derentwillen diese Gebiete auch besonders einer näheren Untersuchung unterzogen worden sind, so läßt sich feststellen, daß der Watt-rücken zwischen dem Festland und Pellworm bereits am stärksten angegriffen und durch die Durch-brüche am Strand und am Rummelloch gefährdet wird. Die nächst ungünstige Situation findet sich zwischen Föhr und Amrum Odde wegen der Erosionen vor der Südwestküste von Föhr und wegen der Gefahr des Durchbruches des Amrum Tiefs zum Hörnum Tief, wodurch dann wegen des mehrere Dezimeter betragenden Wasserstandsunterschiedes der beiden Wattströme in kurzer Zeit eine ständig offene, Föhr und Amrum trennende tiefe Rinne wie am Strand entstehen würde. Und schließlich unterliegt auch der Watt-rücken Festland — Föhr einer ungünstigen Entwicklung, besonders durch die starken Abträge nordöstlich von Föhr und durch die Neigung verschiedener Rinnen, den Watt-rücken zu durchbrechen. Die Differenzkarten liefern die entsprechenden objektiv gemessenen Nachweise.

## 7. Überwachungsprofile 1960 bis 1962 in den Wattstromrinnen

Während die Oberflächengestalt der trockenfallenden Watt-rücken, der Priele und teilweise der Oberläufe der Wattströme durch genaue Vermessungen (Grundkarten der Wattaufnahme 1:10 000) festgelegt worden sind, fehlten seither, wenn man von den Vermessungen des Deutschen Hydrographischen Instituts für die Herstellung der Seekarten für die Schifffahrt absieht, genauere Vermessungen für die Überwachung der morphologischen Veränderungen in den Wattströmen, besonders in ihren Mittel- und Unterläufen. Aus den Untersuchungen über die Gezeitenbewegungen hat sich nun aber ergeben, daß auch hier große Kräfte mit entsprechenden Umlagerungen am Werke sind. Grundsätzlich herrschen folgende Verhältnisse:

Im Unterlauf der Wattströme besondere Flutstromrinnen und Ebbstromrinnen mit zwischenliegenden Barren (s. auch VAN VEEN 1951), teilweise stark verwildert und kurzfristig sich umlagernd.

Im Mittellauf der Wattströme besonders tiefe Erosionsrinnen (— 10 bis — 30 m NN) mit Sedimenttransport sowohl in Flut- als auch in Ebberichtung als Folge der nach beiden Richtungen anhaltend hohen Gezeitenströmungen.

Nach dem Oberlauf hin überwiegend landwärts gerichteter Strom mit entsprechend landwärtiger Materialtransporttendenz.

In den Verdriftungsgebieten Überlagerungen und Verschiebungen in Verdriftungsrichtung. Tendenz zu Durchbrüchen durch Watt-rücken und Abtrennung der Wattsockel von Inseln und Halligen vom Festland.

Danach ist es unumgänglich, auch die Veränderungen der Wattstromrinnen möglichst genau zu überwachen. Zugleich werden dadurch auch die notwendigen großräumigen Zusammenhänge sichtbar. Da beispielsweise auch zweifach durchgeführte Luftbildvermessungen, die für die trockenfallenden Wattgebiete außerordentlich aufschlußreich waren, die unter Wasser liegenden Umlagerungen in den Stromrinnen nicht mit erfassen konnten, wurde deren Erfassung nächst der Überwachung der gefährdeten Wattrücken besonders dringlich. Eine Auslotung der Wattströme mit einer der übrigen Wattvermessung entsprechenden Genauigkeit über die gesamte Fläche der Wattströme war wegen der nun einmal begrenzten personellen und sachlichen Kapazität der Vorarbeitenstelle Nordfriesland des Marschenbauamtes Husum nicht möglich. Um aber doch möglichst schnell über Messungen mit hoher Genauigkeit, die auch die Ermittlung geringer Differenzen zuläßt, verfügen zu können, wurde durch die Wattströme zunächst ein System von Querprofilen gelegt und aufgemessen. Diese Profile wurden so gelegt, daß sie insbesondere die Umlagerungen ausweisen können, die nach den vorgenannten grundsätzlichen Zusammenhängen zwischen Gezeitenbewegung und Morphologie zu erwarten sind. Sie sind nach auffälligen Landmarken oder EP (Eisenschraubpfählen) ausgerichtet, so daß sie schnell und genau für die späteren Wiederholungsvermessungen wiederhergestellt werden können. Die Profile sind nach dem entsprechenden Wattstrom und dann jeweils nach einer entsprechenden Quermarke bezeichnet (Abb. 18):

Hever:	Süderoog — Westerhever Porrenrönnel
Norderhever:	Pellworm Hafen Nordstrandischmoor Strand Süd (mehrere Profile) Strand Bongsieler Loch
Rummelloch-West:	Norderoog Nord Norderoog Süd Jens Wand
Süderau:	Hooge Langeneß SW Gröde Strand Nord (mehrere Profile)
Norderau:	Wittdün Mittellocks Knob Oldenhörn Süd Oldenhörn Ost Näshörn
Hörnum Tief:	Hörnum Odde Nord Hörnum Odde Süd Liin Sand Steenack

Diese Profile wurden 1960 bis 1962 genau vermessen. Damit ist eine erste Grundlage geschaffen, auch die Umlagerungen in den Wattströmen noch genauer erfassen zu können. Erst durch spätere Wiederholungsmessungen werden diese Profile in vollem Umfange Früchte tragen, ähnlich wie die Erstvermessungen der übrigen Wattgebiete, die inzwischen mehrfach aufgenommen werden konnten und die damit die Ergebnisse, die in den vorangegangenen Abschnitten mitgeteilt werden konnten, erst ermöglichen.



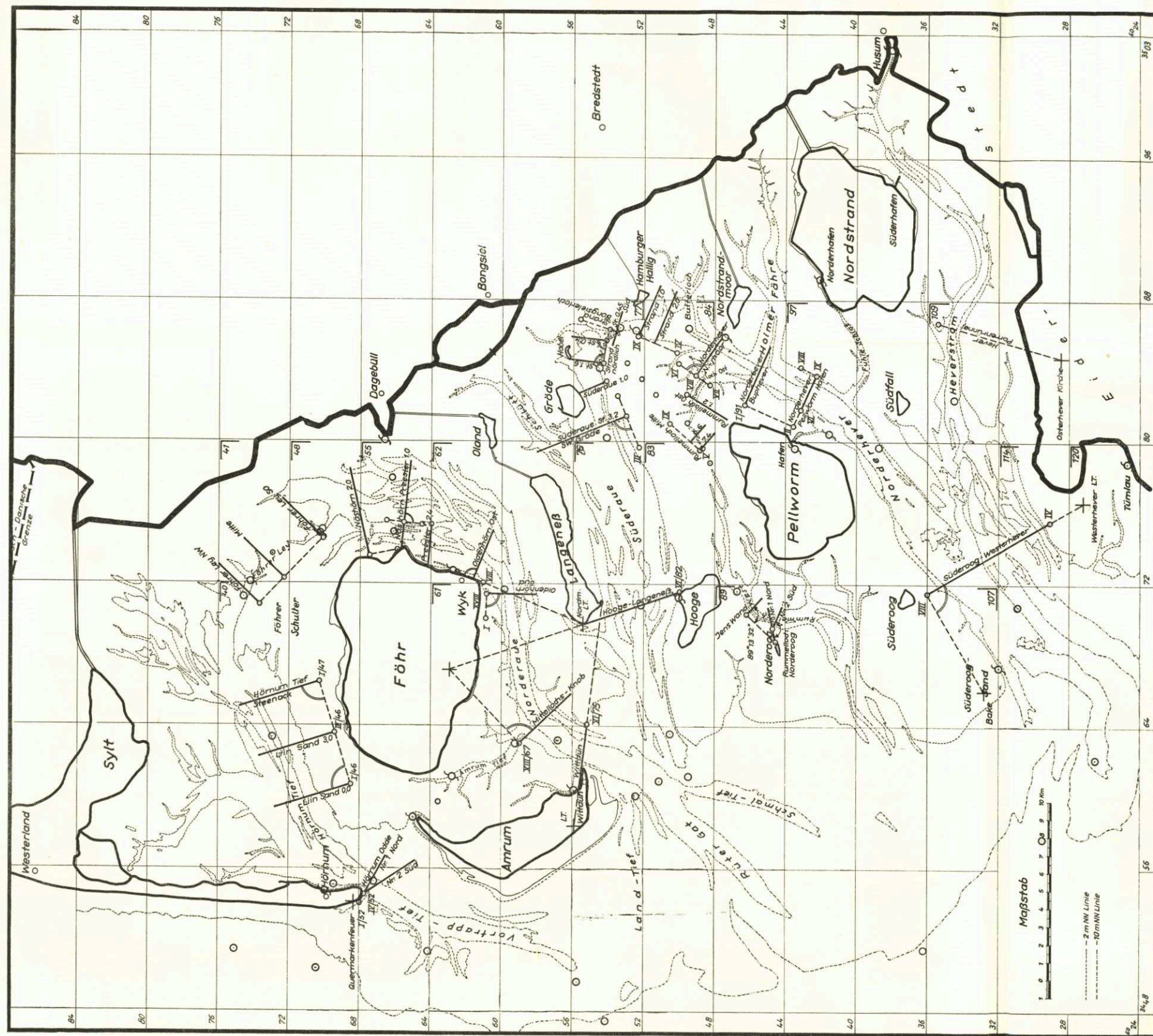


Abb. 18. Neue Überwachungsprofile 1960 bis 1962 in den Wattströmen Nordfrieslands



So soll auch dieser Bericht mit dazu beitragen, den seit Generationen betriebenen Küstenschutz in Nordfriesland weiter zu verbessern, immer umfassender zu gestalten und folgerichtig fortsetzen zu können.

#### 8. Schriftenverzeichnis

- HUNDT, C.: Das „Rasterverfahren“ zur Bestimmung von Höhen- und Raumveränderungen im Wattenmeer. Marschenbauamt Heide — Pegelaußenstelle Büsum, Studie 1/58. Büsum, 18. 3. 1958. Unveröffentlicht.
- KNOP, F.: Bericht über die Veränderungen des Südstrandes von Wittdün/Amrum. Marschenbauamt Husum — Vorarbeitenstelle Nordfriesland, Bericht Nr. 17/59. Husum, 10. 6. 1959. Unveröffentlicht.
- KNOP, F.: Untersuchungen zum Schutze der Hallig Norderoog. Marschenbauamt Husum — Vorarbeitenstelle Nordfriesland, Bericht Nr. 19/61. Husum, 14. 2. 1961. Unveröffentlicht.
- KNOP, F.: Untersuchungen und Vorarbeiten für die Dammbauten Festland — Föhr — Amrum. Marschenbauamt Husum — Vorarbeitenstelle Nordfriesland, Bericht Nr. 20/61. Husum, 20. 6. 1961. Unveröffentlicht.
- KNOP, F.: Untersuchungen über Gezeitenbewegung und morphologische Veränderungen im nordfriesischen Wattgebiet als Vorarbeiten für Dammbauten. Mitt. Leichtweiß-Inst. f. Wasserbau u. Grundbau der Techn. Hochschule Braunschweig, H. 1, 1961.
- LAMPRECHT, H.-O.: Brandung und Uferveränderungen an der Westküste von Sylt (Nordsee). Mitt. Hannov. Versuchsanst. f. Grundbau u. Wasserbau, Franzius-Institut H. 8, 1955.
- LAMPRECHT, H.-O.: Uferveränderungen auf Sylt. Die Küste 6, H. 2, 1957.
- NEUMANN, H.: Über die Bearbeitung von Strombeobachtungen von mehr als fünfzehn Tagen Dauer. Dtsch. Hydrogr. Z. 13, H. 5, 1960.
- VAN VEEN, J.: Eb- en vloed-schaar-systemen in de Nederlandse getijwateren. Waddensymposium. 's-Gravenhage 1951. (Übersetzung des Küstenausschusses Nord- und Ostsee: Die Systeme der Ebbe- und Flutrinnen in den holländischen Tidegewässern.)
- WALTHER, F.: Grundlagen für die Entwicklung der Meeresströmungen in den Seegaten und Wattgebieten der ostfriesischen Küste. Wasserwirtsch. 40, H. 1 u. 2, 1949.